

基于大数据的燃气管道泄漏检测技术创新

秦宗超 (聊城金奥燃气发展有限公司, 山东 聊城 252000)

许保国 (聊城市东昌府区新奥能源有限公司, 山东 聊城 252000)

摘要: 随着燃气在我国的广泛应用, 燃气管线的泄漏检测变得越来越重要。本文以大数据为基础, 开展输气管道泄漏检测技术创新, 对保障燃气安全具有重要意义。首先通过融合多源数据, 采用先进的数据分析算法和模型, 实现对燃气管道泄漏风险的准确、实时检测。从数据采集与预处理、特征提取、模型构建、实时监测与预警、系统集成与优化几个方面开展创新研究, 旨在提高燃气管道泄漏检测精度, 降低漏报率, 提高应急响应速度, 为燃气管道安全运行提供有效的技术保障, 这对减少燃气泄漏事故发生、保障人民生命财产安全具有重要意义。

关键词: 大数据; 燃气管道; 泄漏检测; 技术创新

中图分类号: TE973.6

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 019-0150-03

Innovation in gas Pipeline Leakage Detection Technology Based on Big data

Qin Zongchao (Liaocheng Jin 'ao Gas Development Co., LTD, Liaocheng Shandong 252000, China)

Xu Baoguo (Liaocheng Dongchangfu District ENN Energy Co., LTD, Liaocheng Shandong 252000, China)

Abstract: With the wide application of gas in our country, the leak detection of gas line has become more and more important. Based on big data, this paper carries out the innovation of gas pipeline leakage detection technology, which is of great significance to ensure gas safety. Firstly, by fusing multi-source data, advanced data analysis algorithms and models are adopted to achieve accurate and real-time detection of gas pipeline leakage risk. Innovative research is carried out from the aspects of data acquisition and preprocessing, feature extraction, model construction, real-time monitoring and early warning, system integration and optimization, aiming to improve the gas pipeline leakage detection accuracy, reduce the false rate, improve the emergency response speed, and provide effective technical support for the safe operation of gas pipelines. This is of great significance for reducing the occurrence of gas leakage accidents and ensuring the safety of people's lives and property.

Key words: Big data; Gas pipeline; Leak detection; Technological innovation

燃气作为清洁、高效的能源之一, 对城市能源供应起着重要作用, 但因长期埋置于地下, 受地质条件、腐蚀及外力损伤等因素影响, 极易发生泄漏。燃气泄漏不仅浪费能源, 还可能引发火灾、爆炸等重大安全事故, 对人民生命财产和环境造成严重威胁。传统的燃气管道泄漏探测方法主要有人工巡检和地面钻井等, 效率低下, 检测精度不高, 难以发现安全隐患。近几年来, 随着信息技术的飞速发展, 利用大数据分析燃气管道泄漏的可能性越来越大, 通过大数据分析和挖掘技术, 能够提取输气管道泄漏特征信息, 实现对输气管道泄漏的快速、准确检测。

1 数据采集与预处理

1.1 多源数据采集

在燃气管道系统中, 不仅有压力、流量和温度等传感器提供的实时数据, 还包括管道的地理信息和施工维护记录。构建一套完整的数据获取系统, 能够实现多源数据的全面实时获取, 为后续的泄漏检测分析奠定基础, 如压力传感器可以对管道内的压力进行实时监测, 流量传感器可以记录气体流量, 以此来判断

管道是否存在渗漏^[1]。具体而言, 针对不同路段, 采用秒级甚至毫秒级的压力传感器, 实时获取管线实际运行状态下的压力信号, 准确掌握管线内部压力的细微变化。流量传感器采用高精度测量装置, 能准确记录每一时刻的气体流量。地理信息数据详细记录了管道的走向、埋深和周围环境等情况, 而施工维修记录包括了管道的建设年限和维修历史, 形成了完整的数据基础。

1.2 数据预处理

在采集到的原始数据中往往含有噪声、缺失值、离群值等现象, 所以必须对原始数据进行预处理。数据预处理过程包括数据的清理、归一化和填充。数据清洗可以去除噪声和异常值, 提高数据质量; 数据标准化可以将不同地域的数据统一到统一的尺度上, 便于后续的数据分析和模型训练; 数据填充技术是一种对缺失数据进行合理填充的技术。通过数据预处理, 可以得到高质量的管道泄漏数据, 为管道泄漏的准确定位提供了依据。在数据清洗方面, 采用统计学方法和机器学习算法来识别数据, 比如设置合适的阈值,

剔除明显超标的的数据。在数据标准化过程中,根据数据自身的特性,采用了最小-最大归一化或 Z-分数归一化等方法。对于缺失数据,根据数据的分布和相关性,通过均值插值、中间插值或者模型预测等方法,来实现数据的完整性和准确性。

2 特征提取与选择

2.1 特征提取

特征提取是计算机视觉和图像处理中的一个概念,目前常用的特征提取方法主要有统计分析、信号处理、机器学习等,统计分析的特征提取方法,该方法可以计算统计量,如均值、方差、标准差、偏度、峰度等;信号处理技术采用傅里叶变换、小波分析等方法对信号进行处理,在频域和时域上分别提取数据的特征;基于机器学习,采用自编码、主成分分析等方法对数据进行降维处理,提取特征,以获取更具代表性的特征^[2]。通过分析压力数据的波动特征及流量变化趋势,提取出泄漏特征信息,具体来说,就是在统计分析过程中,既要计算基本统计量,又要分析各个时期的变化趋势。其中傅里叶变换可将时域信号转换为频域信号,并能反映出信号的频域成分;小波变换能有效地处理非平稳信号,更好地反映信号的多尺度特征。基于机器学习的特征提取方法,自动编码器可以通过无监督学习的方式,学习数据的潜在表示,主成分分析则能通过线性变换找到数据的主要成分,去除冗余信息。

2.2 特征选择

针对抽取到的特征可能存在冗余或者不相关的问题,需要对其进行特征选择。采用特征选择方法,旨在筛选出识别能力强、代表性强的漏检特征,以实现特征维数的降维,提高模型的训练效率,提高检测精度。常用的特征提取方法有滤波法、包裹式方法和嵌入式方法等。滤波法是基于特征与标签之间的相关性来选择特征;包裹式通过训练不同的特征子集,根据模型的性能选择最优的子集;嵌入式方法将特征选择与模型训练过程有机地结合在一起,实现了对模型有意义的特征提取。通过特征选择,可以得到一组最优的特征,为构建高效的泄漏检测模型提供支持。如过滤式方法中,采用皮尔逊相关系数及相关系数计算特征与标签间的相关度,剔除相关度较低的特征。包裹法即对不同特征进行穷尽或随机抽样,对模型进行建模,通过对模型精度、召回率等指标的比较,找出最优的特征子集。嵌入方法,如 Lasso 回归等,将特征系数限制在 0 附近,从而实现特征选择。

3 泄漏检测模型构建与优化

3.1 模型构建

基于大数据的燃气管道泄漏检测模型,主要包括

机器学习模型和深度学习模型。支持向量机、决策树、NaiveBayes 等机器学习模型具有结构简单、训练速度快的特点;深度学习模型如神经网络、循环神经网络、卷积神经网络等,在特征学习、非线性拟合等领域有着独特的优势。在实际应用中,可以根据数据的特点和检测要求来选择合适的模型。例如,对于时序数据,我们将选择循环神经网络及其变体门控循环单元 (GRU),长短时记忆网络 (LSTM) 等。针对空间特征数据,采用卷积神经网络对其进行建模^[3]。然后,利用大量标注数据训练模型,使模型能够学习正常和泄漏情况下的特征差异,从而实现输油管道泄漏检测。其中,支持向量机在处理线性可分性与可分性数据方面表现出了良好的能力,它通过寻找最优超平面将不同类别区分开来。决策树是一种基于数据特征的递归分类方法,通过构建树结构实现分类和回归。

3.2 模型优化

为了提高模型的探测性能,需要进一步优化模型,对模型进行优化的方法主要包括超参数调整、模型正则化和数据增强等。超参数调整利用网格搜索法、随机搜索法、遗传算法对超参参数进行调整,得到最佳超参组合;模型正则化可以通过 L1 正则化、L2 正则化、Dropout 等方法来防止模型过拟合;数据增强包括旋转、平移、缩放、加噪等方法来增强数据的多样性和增强模型的鲁棒性。通过对模型进行优化,提高模型的精度、稳定性,使其能够适应各种工况。在超参数整定过程中,采用网格搜索法将预先确定的超参范围穷尽,虽然计算代价较大,但仍能保证寻到最优解;随机搜索是在超参数空间中随机采样的一种方法,尽管其效率很高,但未必能够获得全局最优解。L1 正则化是对特征选择中的一些参数进行零值化处理,而 L2 正则化则是限制参数的平方和以避免参数过大。在数据增强操作中,通过对时间序列的旋转模拟,增加噪声可以模拟实际操作过程中可能出现的干扰,增强模型的鲁棒性。

4 实时监测与预警

4.1 实时监测

在实际输气管道监测系统中应用,实现管道运行参数的在线分析和检测。通过对燃气管道运行状态的实时监测,可以发现可能存在的泄漏隐患,并采取相应的应急措施。例如,当管线内的压力、流量等参数出现异常变化,并符合泄漏特征时,系统将立即发出警报,通知相关人员进行检测和处理。在实际的监控系统中,采用高速的网络设备进行数据采集和传输,确保数据能够及时准确地传送到模型处理端。模型会定期对收集到的数据进行分析,一旦发现异常,便会发出警告。同时,详细地记录故障发生的时间、地点

和变化情况,为下一步的故障诊断做好准备。当相关人员接到报警信号后,可以根据系统提供的具体信息快速查找可能的漏水点,进行检测和维修^[4]。

4.2 预警机制

首先,建立健全的石油泄漏预警机制,实现石油泄漏事故的预警和分级。当检测到轻微渗漏时,黄色预警就会响起,提醒相关人员加强巡逻;一旦发现泄漏量较大,立即启动应急预案,组织人员进行疏散和抢险救援。基于上述研究成果,结合地理信息系统,实现泄漏点的准确定位,为抢险救灾工作提供可靠信息支持。其次,建立燃气管道泄漏的实时监测和预警机制,对提高管道泄漏事故的应急处理能力、减少事故损失具有重要意义。在实施过程中,依据历史数据和专家经验,确定了不同层次的判别标准;若为黄色预警,将安排专人加强巡查,及时发现潜在危险。当出现红色预警时,系统会自动通知相关应急救援组织,并根据地理信息系统提供的详细地图信息,规划最佳的搜救路线和搜救路径,确保人员和财产的安全得到快速、有效的处置。

5 系统集成与优化

5.1 多源数据融合

多源信息融合技术在燃气管道泄漏检测中发挥了重要作用,充分利用多源数据的优势,对多传感器多系统数据进行融合,以提高管道泄漏检测的准确性和可靠性。以压力传感器和流量传感器的数据融合为例,压力传感器可以实时监控管道内的压力,流量传感器可以精确地测量气体的流量。在实际运行中发现,当管道发生泄漏时,其压力和流量将发生不正常的变化。在正常情况下,压力和流量之间存在着一个稳定的对应关系,一旦这种关系被打破,泄漏就会发生。两种数据相辅相成,可以让人对这些细微的变化更加敏感,从而更准确地判断出漏损情况,有效地避免了误判和误判^[5]。然后,结合地理信息系统(GIS)技术和管道运行数据,为管道泄漏检测和应急处理提供了新的思路。GIS包含了管线的精确位置,周边地形地貌,建筑物分布等地理信息。同时,结合压力、流量、温度等运行参数,可在电子地图上显示管道的运行状态。一旦发生泄漏事故,操作人员可以在地图上迅速定位泄漏点,并掌握周边环境情况,为制定科学合理的应急预案提供有力支持。

5.2 系统优化与升级

大数据环境下输气管道漏检系统并非静止不动,需要根据复杂多变的应用场景和工况不断优化和升级。系统的性能指标主要有正确率、召回率、误报率、漏报率等。通过对这些指标进行实时监测和详细评估,

能够及时发现系统存在的问题和不足之处。当检测精度较低时,可能是由于检测算法存在缺陷,造成了对漏检情况的判断偏差;高的虚警率会导致工作人员频繁地做一些不必要的检查,浪费人力和物力。针对系统存在的问题,进行针对性的改善。针对算法中出现的问题,可以深入分析其原理和逻辑,结合实际运行数据对算法进行优化调整,如引入更高级的机器学习算法来提高模型对泄漏特征的识别能力。在模型更新方面,需要根据不同的工作条件 and 环境因素来优化模型参数。在不同的季节、不同的地区,其操作参数可能会有所不同,需要根据实际情况加以校正。此外,增加传感器和数据源也是提高系统性能的有效途径。随着科学技术的发展,出现了许多传感器,如高灵敏度气体浓度传感器、高精度振动传感器等。同时,结合物联网技术获取更多的实时数据和其他数据源,进一步提升系统的智能化和高效性,使其更好地适应不同工况下的输气管道运行需求。

6 结束语

运用大数据技术对输气管道漏检技术进行创新,已成为燃气行业发展的必然趋势。在已有的工作基础上,针对燃气管道泄漏检测中存在的问题,从数据采集与预处理、特征提取与筛选、模型构建与优化、在线监测与预警三个方面展开研究,以实现燃气管道泄漏的高效高精度检测。本项目的实施,对提高燃气管道的安全性、可靠性、降低泄漏事故发生率、保障人民生命财产安全、降低运营成本、提高企业经济效益和管理水平具有重要意义。然而,大数据环境下输气管道泄漏检测技术仍处于发展和完善阶段,存在数据质量有待提高、模型泛化能力和实时性不高、多源数据深度融合不足等问题。随着大数据、人工智能、传感等技术的不断发展和完善,大数据环境下输气管道泄漏检测技术将进一步创新和完善,为我国燃气行业的安全生产提供有力的技术支撑。

参考文献:

- [1] 杨雪.智能视觉辅助的燃气管道泄漏激光遥测研究[D].天津:天津工业大学,2023.
- [2] 田兴浩.基于改进负压波法的居民燃气系统泄漏检测方法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2023.
- [3] 孙家琛.基于CNN和图像处理的聚乙烯燃气管道缺陷检测研究[D].北京:北京交通大学,2023.
- [4] 陈涛涛,刘瑶,高小雨,等.基于二次拟合的埋地燃气管道氦示踪剂漏点检测方法[J].当代化工研究,2022(14):39-41.
- [5] 何依泽.基于深度学习的城市天然气管网泄漏检测研究[D].西安:西安石油大学,2022.