

天然气管道输送系统漏磁内检测信号特征与缺陷识别方法

王沂沛 (国家管网集团储运技术发展有限公司, 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 天然气管道作为现代化油气供给系统的核心要素之一, 其安全性与稳定性对国家能源安全、经济发展有着重要的影响。管道经过长期使用会出现一定的缺陷, 如管道腐蚀、管裂等, 进而产生安全问题。该研究主要研究管道漏磁检测信号的特点和对应的缺陷判别方法, 进一步分析信号的时间域和频率域属性, 并提出一种快速、有效的特征提取和缺陷判别方法。此方法定位准确、抗干扰能力强, 可以进一步用于燃气管道安全的检测和漏磁技术的推广应用。

关键词: 天然气管道; 漏磁内检测; 缺陷识别; 方法

中图分类号: TE832 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 030-0124-03

Characteristics of magnetic leakage internal detection signals and defect identification methods for natural gas pipeline transportation systems

Wang Yipei (National Pipeline Network Group Storage and Transportation Technology Development Co., Ltd. Shenyang Liaoning 110000, China)

Abstract: As one of the core elements of modern oil and gas supply systems, the safety and stability of natural gas pipelines have a significant impact on national energy security and economic development. After long-term use, pipelines may have certain defects such as corrosion and cracking, which can lead to safety issues. This study mainly investigates the characteristics of pipeline magnetic leakage detection signals and corresponding defect discrimination methods, further analyzes the time-domain and frequency-domain properties of the signals, and proposes a fast and effective feature extraction and defect discrimination method. This method has accurate positioning and strong anti-interference ability, and can be further used for the detection of gas pipeline safety and the promotion and application of magnetic leakage technology.

Key words: natural gas pipeline; magnetic leakage internal detection; defect identification; method

1 天然气管道输送系统漏磁内检测概述

1.1 天然气管道运输的重要性

由于种种原因, 油气管道会出现问题, 若不能得到及时有效的解决, 这可能会导致资源的损失、环境的破坏以及安全的威胁。因此定期对其监测发现问题至关重要。漏磁检测方法因其具有高的准确性及检测的有效性而被广泛应用, 它是根据磁场的变化对管材表面的缺陷进行检测。随着技术的发展, 漏磁检测仪器变得越来越精细和高效。本文通过有限元进行深入探索管道中磁场的特性, 从而给出问题信号识别提供了理论基础。事实上, 管道的所有者会常利用漏磁检测设备对其进行管道状况进行检测, 并利用诸如 Pipelimage 之类的专业软件来辅助定位检测管道上具体位置上的缺陷, 提高了工作效率。在大数据技术及人工智能的快速发展下, 已出现了内检测信号分析软件以及问题识别软件, 并形成了一个统一的数据格式及缺陷库, 提高了问题识别的准确性, 保障管道的安全运行。天然气管道运输对于我国的能源安全、经济增长起到至关重要的作用, 随着科学技术的不断进步, 检测将越来越准确和完善, 保障能源安全与经济长期稳定发展。

1.2 漏磁内检测技术的优势与挑战

漏磁内检测技术是一种不破坏性的检验方法, 因其广泛的适用性和便捷性以及低廉的成本而在天然气管道检验中起着重要作用。其利用磁感应原理通过管道缺陷产生的漏磁场进行故障检测。该检测方法采用的是一些小型质量的永久磁体, 这也符合了实施检测所必须要求的安全性和检测方便性, 而且还可以适应一些复杂的操作条件。

与其他无损检测方法相比, 漏磁内检测成本低, 具有很好的经济性, 但仍存在诸多问题, 如信息处理、检测信号质量、检测准确性。为提高检测准确性, 检测装备、传感器以及数据处理算法已经被优化, 使得漏磁内检测技术在管道故障检测方面取得了显著的成果。高分辨率的 3D 漏磁内检测工具的开发使得漏磁内检测检索及定性能力得到了显著提高, 进而提供了更有效的更准确的管道维修信息。

1.3 研究内容与创新点

本文旨在深入研究泄漏天然气管道内部探针磁场的泄露信号特征以及基于机器学习的缺陷识别算法。本文采用系统研究的方法, 涵盖信号研究、特征提取以及基于机器学习的缺陷识别算法设计实现, 以提高

管道的缺陷识别准确性和效率，为管道安全运行管理助力。通过对信号特征的研究，实现信号内容的发现与提取，给出改进方法提升信号品质。综合信号统计特性、形态学特性和能量特性，构建全方位特征集，实现灵敏度和特异度的提高。结合迁移学习和数据扩充策略使模型更具普适性和抗干扰性，实验证明能够更好地提高准确率、响应速率和鲁棒性的实现管道智能化的检测与监测。

2 天然气管道漏磁内检测原理

2.1 漏磁检测原理

由于铁磁性材料的高磁导性特征，漏磁检测技术已被广泛应用于燃气管道的检测当中。当燃气管道被充至饱和磁场以后，管道任何的缺陷例如锈蚀或者裂纹会导致磁导率的降低，进而导致了磁场发生变化。变化的结果会产生能被探测到的漏磁场，与管道中的缺陷表现息息相关。

通过分析漏磁场的变化规律可以找到管道内部的缺陷及其程度。通过灵敏传感器来探测很小的信号后转化成电子信息进一步处理分析，就可以找到缺陷并评估缺陷严重程度。然而，检测精度和能力受到诸多影响，例如速度，以及环境的杂散噪声等，随着技术的发展，例如信号处理技术、机器学习等的应用使得检测精度和能力提高，为燃气管道的安全运行提供了保障。

2.2 漏磁信号的产生与传播

检测方式漏磁检测适用于天然气管道，通过无损检测方法来识别管内存在的缺陷。将具备磁性的管道置入强磁场中，就会使磁通环路形成闭合回路。而一旦出现缺陷如腐蚀、泄漏或沟槽，则会使磁导率受影响，使回路受到影响，导致漏磁现象。而漏磁效应大小和分布特性则与缺陷特点有着直接关系，可以利用相关感应器记录漏磁效果，从而获取缺陷的信息，通过分析这些信息就能够了解缺陷的位置、类型和严重程度，这对于管道检修提供了保障。而且通过探究漏磁信号产生和传播机理对于提高漏磁检测的精度和效率也很有帮助，确保管道安全运行。

2.3 漏磁检测技术的特点

对于天然气输送管道的安全检验，使用漏磁检测技术是很关键的，因为无接触进行检验，所以能够避免对管道造成二次破坏。使用这一技术能够快速发现缺陷以及查找缺陷源，而且适用于各种范围。这种技术应用仅对铁磁材料制成的管道有效，对于其他材质以及深的且小的缺陷则无法检验，此外，由于漏磁信号复杂，需要良好的技能和先进技术。不过，漏磁检测技术仍然对保障管道的正常运行至关重要，而且在

未来还有可能提升。

3 漏磁内检测信号特征分析

3.1 信号采集与处理

如何采集信号主要取决于选择什么样的传感设备，通常采用的传感设备包括霍尔元件和电磁铁，它们都是根据霍尔效应与感应电动势来感应磁场的。传感设备的选择要结合实际情况以及环境条件。通常情况下，原始的信号内往往存在噪声与杂质的干扰，需要对其进行滤波以及去噪处理，我们可以选择带通或低通滤波器或是小波变换，此外为了使其保持稳定，我们还要将其进行基准线的平移以便于对其进行偏差，这样便可保障准确的度量。最后我们从中获取反映瑕疵信息的特征，比如说，最高的峰值以及最低的谷值等等，让其成为识别瑕疵的一个输入因子。信号的采集处理是漏磁内部检查环节的重要工作，它将有助于改善信号的质量、提升信赖度、保证其准确性。

3.2 信号特征提取

对于信号特征的分析，我们需要选择描述信号本质并且对故障鉴别有重要作用的量进行分析。根据信号特征的不同选择相应的分析方式，比如对能量谱或功率谱的分析可以呈现信号总量在不同区间分布情况，是分析故障的一个关键信息。而极端值（极大值和极小值）分析则主要考虑信号在某些地方极大或者极小，在这里代表着信号的变化或者是异常，这是发现故障的一个关键。信号强度分析则是对信号进行全局幅值大小分析，信号强弱与问题的严重程度和深度是有相关的，可以计算平均值、方差等统计量得到。同理，重视信号的高峰值也是分析的一种方法，因为高峰值往往代表问题的范围或者中心位置，高峰值判断也能得到同样的信息。最后，对比不同信号之间相似性的特征就是对比待测信号与已知故障信号的相似性，这样可以检验有无与之相同的问题发生。而面积特征主要是关注在一段特定区间中的累加面积，而这段区间就是信号大部分变化的地方，这对有着区域特征的问题至关重要。综合上述所有特征，就可以更准确找出燃气管线上的问题，以便于保障管道输送的安全与效率。

3.3 特征分类与识别

对自然气体管线漏磁检测来说，难点在于检测出管道损伤，并识别损伤点的位置。由于不同的损害产生的信号有各自的特征，因此选择适合的分类方法很重要。尽管支持向量机 (SVM)、K 最近邻 (KNN)、决策树等传统机器学习方法在模式识别任务上表现出色，但在大数据或更高复杂性的数据上，这些方法往往力不从心。而 CNN 在漏磁的检测任务中可以表现出良

好的作用，可以自主提取和分类信号的特征。CNN 能够逐层地学习一些特征，然后将这些特征合并成一个更抽象的表示来描述损伤。通过使用全连接层和分类器，可以识别出损伤。深层次算法具有很高的效率和准确性，支持各种不同的环境，可以使用大量的高维数据。因此深度学习对于自然气体的漏磁检测具有普遍应用的价值。

4 缺陷识别方法研究

4.1 缺陷类型与特征

就天然气管道而言，管道内出现的各种缺陷，如腐蚀、裂痕以及凹陷等都会对管道的可靠与稳定产生较大的影响。其中最常见的就是腐蚀现象，它属于化学变化或是外界环境带来的变化，它在漏磁检测的过程中就会以信号变弱以及波形平缓过渡的方式呈现。裂缝可能是由于疲倦或是外界压力产生的，它的特点就是信号突然变大并且波形呈现出尖峰摆动的形状。凹陷绝大多数都是由于管道中有杂质或是生产上的问题带来的，它们都有明确的断边线和形状特征。通过对漏磁检测结果的性质进行分析，我们就可以有针对性地检出缺陷并制定相关的修复预防措施，实现对管道安全性能的提升以及维修工作的优化。

4.2 识别算法与模型

而对于天然气管道的漏磁检测而言，选择合适的缺陷识别方法和模式也是至关重要的。近年来机器学习、深度学习技术在这个领域有了重大进展，为我们提供了一个有效的检测管道缺陷方法。例如 SVM、KNN、决策树等机器学习算法就广泛应用于管道缺陷识别，它们可以解决复杂问题也可以利用历史数据进行预测分类。但是它们的性能受特征提取质量的影响。而深度学习技术尤其是 CNN 和 RNN，具有自动提取特征的能力，这避免了费时费力的特征构造，因此适用于处理图像、信号、时间序列数据。在管道缺陷检测中，深度学习技术的优点是显而易见的，因为它可以自动提取特征，这就能够加快识别速度及精度，还可以通过优化模型来提高效果。然而这种深层学习模型需要大量的数据集和高级别的计算能力，因此，在实际应用中我们应该考虑数据量问题和设备需求以及其他因素。综合来看，机器学习、深度学习技术在管道漏磁检测中应用有着广阔的应用前景，这对提高识别准确率和有效率有极大的贡献，也保障了管道的安全运行。

4.3 识别效果评估

在自然气体管线的漏磁内检测中，辨识效用是关键因素，关系辨识策略的质量。评定标准的选择和评定办法是公正比较和选择不同的辨识方法的关键。选

用什么样的评价准则取决于最后结果完整性和精确性的体现方式。准确性是一个基本参数，然而当样本中的类别出现偏差的话有可能会出现偏差。所以，召回率也是一项关键的指标，尤其是针对那些大类的故障。使用 F1 指数融合准确率和召回率以便平衡两者的关系，是更加客观公正的指标。实际上，我们可以选择关注不同方面的指标以便选出最优策略。此外，其他评估技术还可以引用，如交叉验证和 ROC 曲线的使用。交叉验证可以通过多轮次的训练和测试来评估算法的有效性，而 ROC 曲线是十分清晰的描绘出该算法表现的曲线。评定结果也取决于数据集的质量和丰富程度，高质量的数据集可以有效地提高评定的质量并测试算法的普适性。合理的评定标准和方式可以全面评估和比较辨识策略的质量，以便于选择和优化辨识策略。确保管线的可靠性。进一步的深入研究中还有机会使用更高的评估方法。

5 结论

本文通过探讨自然气体输送管漏磁内检测技术，证明了此技术的适用性和灵敏度能有效地检出不同类型的缺陷。文中还提出了漏磁信号与缺陷的相关性，通过对特征提取获得的与缺陷相关的特征，也探讨了采用机器学习和深度学习来进行缺陷识别，最终验证了深度学习算法鉴别多种缺陷具有优势。以上研究极大推动了管道的智能检测工作，也凸显出了非破坏性检测技术对基础设施的安全的重要作用，为我们今后的研究指明了方向。

参考文献：

- [1] 李睿. 油气管道内检测技术与数据分析方法发展现状及展望 [J]. 油气储运, 2024, 43(03):241-256.
- [2] 李睿. 油气管道内检测技术及数据分析方法现状及展望 [J]. 油气储运, 1-17.
- [3] 芦娅妮, 任金平, 黄波, 孟国亮, 康进科. 漏磁检测在天然气长输管道缺陷检测中的应用研究 [J]. 石油化工设计, 2023, 40(02):53-57+6.
- [4] 侯向峰, 刘志鹏, 缪全诚. 管道漏磁内检测中疑似分层缺陷的确认与评价 [J]. 全面腐蚀控制, 2022, 36(01):63-67.
- [5] 王学彬. 在役油气管道三维漏磁检测传感器系统的设计 [D]. 中北大学, 2021.
- [6] 杨杨, 谢维成, 张均富, 郭晨鸿, 王秀伟. 天然气管道内壁缺陷形状的漏磁场分布特征及检测 [J]. 传感器与微系统, 2020, 39(10):104-107.
- [7] 任思忠. 天然气管道在线无损检测技术 [J]. 化工管理, 2018, (20):243-244.