

基于漏磁原理的管道内检测信号干扰源识别方法

董立昆¹ 梁永雪²

1. 天津五合伟业工程管理服务有限公司 天津市 300453; 2. 天津滨海概念人力信息科技有限公司 天津市 300450

DOI:10.32629/ems.v8i5.20215

[摘要] 漏磁检测是管道内检测中应用广泛的无损检测技术,其检测信号的准确性直接决定管道缺陷判断的可靠性。信号干扰源的存在会导致漏磁信号畸变,难以有效区分缺陷信号与干扰信号,进而影响检测效果。核心研究围绕漏磁原理下管道内检测信号干扰源的识别展开,明确干扰源的类型与特征,探索科学合理的识别思路与技术路径,解决干扰源与管道缺陷信号混淆的关键问题,提升漏磁检测信号的纯度与识别的准确性,为管道安全检测提供可靠支撑。

[关键词] 漏磁原理; 管道内检测; 信号干扰源; 识别方法

引言

漏磁检测技术凭借检测效率高、适用范围广、可实现长距离管道在线检测等优势,成为保障管道结构完整性与安全运行的核心技术手段。管道在长期服役过程中,受输送介质、外部环境、检测设备自身等多种因素影响,漏磁检测过程中会不可避免地产生信号干扰,这些干扰源会扭曲真实的缺陷漏磁信号,导致缺陷误判、漏判,埋下管道安全隐患。明确干扰源的本质的特征,建立高效的识别方法,是突破当前漏磁检测技术瓶颈、提升检测可靠性的关键。深入研究干扰源识别方法,可有效剥离干扰信号,还原缺陷信号本真,为管道缺陷精准评估与安全维护提供有力保障,衔接后续对干扰源识别的具体研究与实践应用。

一、管道漏磁内检测信号干扰源相关基础认知

(一) 管道漏磁内检测的核心工作原理

漏磁内检测技术以铁磁材料的磁特性为核心基础,通过检测设备内置的永磁体或电磁体对管道管体进行磁化处理,使管道处于饱和磁化状态。在管道管体完好无缺陷的情况下,磁力线会沿着管道内部均匀分布,形成闭合的磁场回路,不会产生明显的磁场泄漏。当管道管体存在腐蚀、裂纹、孔洞等缺陷时,磁力线的正常分布会被破坏,部分磁力线会从缺陷处泄漏到管道外部,形成漏磁场。检测设备中的磁敏传感器能够捕捉到这些漏磁场信号,将其转化为电信号,进而实现对管道缺陷的检测与定位。漏磁检测的核心优势在于无需接触管道内壁、不受管道内输送介质影响,可实现长距离、连续化的在线检测,适用于各类金属材质的输油气管道检测。

(二) 漏磁检测信号的基本特征与识别难点

漏磁检测信号的特征与管道缺陷的类型、大小、形状以

及检测设备的运行状态密切相关,正常的缺陷漏磁信号具有稳定的幅值、频率分布和波形特征,能够通过信号分析准确反映缺陷的具体情况。但在实际检测过程中,漏磁信号的识别存在明显难点,核心问题在于干扰信号与缺陷信号的特征存在重叠,难以快速准确区分^[1]。干扰信号的幅值、频率可能与缺陷信号相近,导致信号波形畸变,使得检测人员无法通过单一的信号特征判断信号来源,进而影响缺陷识别的准确性。不同类型的干扰源产生的信号特征存在差异,且受检测环境变化影响较大,进一步增加了信号识别的难度。

(三) 干扰源对漏磁检测的影响机制

干扰源对漏磁检测的影响主要体现在信号畸变、检测精度下降和缺陷误判三个方面。干扰信号会叠加在缺陷漏磁信号之上,改变原始信号的幅值和波形,导致信号失真,无法真实反映管道缺陷的实际情况。轻微的干扰会导致缺陷量化误差,严重的干扰会使检测设备误将干扰信号识别为缺陷信号,或掩盖真实的缺陷信号,造成漏判、误判。这种影响会直接降低漏磁检测的可靠性,若基于失真的检测结果开展管道维护,可能会导致维护措施不到位,埋下管道泄漏、破裂等安全隐患,影响管道的长期安全稳定运行。

二、管道漏磁内检测信号干扰源的类型划分与特征分析

(一) 设备自身类干扰源及特征

设备自身类干扰源于漏磁检测设备内部的结构与运行过程,是检测过程中难以避免的固有干扰。检测设备中的磁敏传感器在工作过程中会产生电子噪声,这种噪声信号幅值较小但频率不稳定,会叠加在漏磁信号中,导致信号出现微小波动。检测设备的磁化装置若存在磁场不均匀、磁化强度不稳定等问题,会导致管道磁化效果不均,进而产生干扰信

号, 这类干扰信号的幅值分布较为分散, 难以形成稳定的波形特征。检测设备的机械结构磨损、部件松动等, 会导致设备在管道内运行时产生振动, 振动信号会通过传感器转化为电信号, 形成振动干扰, 其频率与设备运行速度相关, 具有明显的周期性。

(二) 管道环境类干扰源及特征

管道环境类干扰源主要来自管道内部输送介质和外部环境, 是影响漏磁检测信号的重要因素。管道内部输送的介质中若含有铁磁性杂质, 这些杂质会被磁化, 产生额外的漏磁场, 形成干扰信号, 这类干扰信号的特征与小型缺陷信号相似, 容易造成误判^[2]。管道内壁的结垢、锈蚀产物等, 会改变管道表面的磁导率, 导致磁力线分布异常, 产生干扰信号, 其幅值与结垢、锈蚀的厚度和分布范围相关, 波形较为平缓。外部环境中的电磁干扰会通过管道管壁传导至检测设备, 影响传感器的信号采集, 这类干扰信号频率较高, 波形杂乱无章, 会严重扭曲原始漏磁信号。

(三) 检测工况类干扰源及特征

检测工况类干扰源与漏磁检测的实际运行工况密切相关, 随检测条件的变化而变化。检测设备在管道内的运行速度不稳定, 会导致传感器采集信号的频率发生变化, 产生速度干扰, 当运行速度过快时, 信号会出现拖尾失真, 速度过慢则会导致信号叠加, 影响信号识别。管道的弯头、接口、焊缝等结构部位, 会导致磁力线发生畸变, 产生结构干扰信号, 这类信号具有固定的波形特征, 与管道结构的几何形状相关。检测过程中的温度变化会影响传感器的灵敏度和管道的磁特性, 导致信号幅值发生波动, 形成温度干扰, 其影响程度随温度变化幅度的增大而增强。

三、管道漏磁内检测信号干扰源的识别思路与核心原则

(一) 干扰源识别的整体思路构建

干扰源识别的整体思路以漏磁原理为核心, 围绕信号特征分析展开, 形成“信号采集—特征提取—类型匹配—确认定位”的完整识别流程。首先通过检测设备精准采集管道内的漏磁原始信号, 确保信号采集的完整性和准确性, 避免因采集环节的误差导致干扰源识别偏差。随后对采集到的原始信号进行预处理, 剥离无效信号, 提取信号的幅值、频率、波形等核心特征, 明确信号的基本属性。再将提取的信号特征与各类干扰源的典型特征进行对比匹配, 初步判断干扰源

的类型, 最后通过多维度验证, 确认干扰源的具体类型和产生位置, 为后续干扰信号剥离提供依据。

(二) 干扰源识别的核心原则把控

干扰源识别需遵循特征匹配性、全面性和实用性三大核心原则。特征匹配性原则要求识别过程中, 严格依据各类干扰源的典型信号特征, 与采集到的信号特征进行精准对比, 确保干扰源类型判断的准确性, 避免因特征相似导致误判。全面性原则要求识别过程中充分考虑各类可能的干扰源, 不遗漏设备、环境、工况等方面的干扰因素, 确保识别结果的全面性, 避免因遗漏干扰源导致检测信号失真^[3]。实用性原则要求识别方法贴合实际检测场景, 无需复杂的操作流程和过高的设备要求, 能够快速应用于现场检测, 提升干扰源识别的效率, 满足管道漏磁检测的实际需求。

(三) 干扰源与缺陷信号的区分要点

干扰源信号与缺陷信号的区分是干扰源识别的关键, 核心在于把握两者的本质特征差异。缺陷信号具有稳定的关联性, 其幅值、频率与缺陷的大小、形状呈正相关, 波形具有规律性, 且信号分布与缺陷位置精准对应, 不会随检测工况的轻微变化发生明显波动。干扰源信号则缺乏这种关联性, 其幅值和频率往往随干扰因素的变化而波动, 波形杂乱或具有明显的周期性, 与管道缺陷的位置无对应关系。缺陷信号在多次重复检测中具有一致性, 而干扰源信号会随检测条件的变化出现明显差异, 可通过多次重复检测对比, 实现两者的有效区分。

四、管道漏磁内检测信号干扰源的具体识别方法

(一) 信号预处理降噪识别方法

信号预处理降噪识别方法是干扰源识别的基础方法, 核心在于通过预处理技术剥离干扰信号, 凸显缺陷信号, 进而实现干扰源的初步识别。该方法首先对采集到的原始漏磁信号进行滤波处理, 采用合适的滤波技术, 滤除高频电磁干扰和低频振动干扰, 减少干扰信号对原始信号的影响。

(二) 特征提取对比识别方法

特征提取对比识别方法基于各类干扰源的典型特征, 通过提取信号的核心特征并进行对比分析, 实现干扰源的精准识别。该方法首先明确各类干扰源的典型特征参数, 建立干扰源特征库, 涵盖设备、环境、工况类干扰源的幅值范围、频率区间、波形特征等关键信息。随后对预处理后的信号进

行特征提取,获取信号的幅值最大值、频率分布、波形峰值数量等特征参数,将其与特征库中的各类干扰源特征进行逐一对比^[4]。通过特征相似度分析,判断信号对应的干扰源类型,若提取的特征与某类干扰源的典型特征高度匹配,则可确认该类干扰源的存在,同时结合信号采集位置,定位干扰源的具体产生位置。

(三) 多维度联合验证识别方法

多维度联合验证识别方法通过结合多种识别手段,从不同维度对干扰源进行验证,提升识别结果的准确性和可靠性。该方法结合信号预处理降噪识别和特征提取对比识别的结果,同时引入管道运行参数、检测设备状态等辅助信息,进行多维度验证。例如,若通过特征对比判断存在铁磁性杂质干扰,可结合管道输送介质的成分分析,确认介质中是否含有铁磁性杂质;若判断存在设备振动干扰,可检查检测设备的机械结构,确认是否存在部件松动、磨损等问题。通过多维度的联合验证,可有效避免单一识别方法的局限性,减少干扰源误判的概率,确保干扰源识别结果的精准可靠。

五、干扰源识别方法的应用优化与实践保障

(一) 识别方法的应用场景适配优化

不同的管道检测场景存在不同的干扰源类型和干扰强度,因此需要对干扰源识别方法进行应用场景适配优化,提升方法的适用性。针对长距离输油气管道,由于检测距离长、工况复杂,干扰源类型多样,可优化特征提取对比识别方法,扩大干扰源特征库,增加不同工况下的干扰源特征参数,提升识别方法对复杂干扰的适配能力。针对城市管网等短距离管道,由于管道结构复杂、接口较多,结构干扰较为突出,可优化信号预处理降噪识别方法,强化对结构干扰信号的滤波处理,提升干扰源识别的效率。同时,根据管道的材质、输送介质等差异,调整识别方法的参数设置,确保识别方法能够适配不同场景的检测需求。

(二) 识别方法的实操性提升措施

为提升干扰源识别方法的实操性,需从操作流程、设备适配、人员能力三个方面采取提升措施。在操作流程方面,简化识别方法的操作步骤,制定标准化的识别流程,明确各环节的操作要求和判断标准,确保检测人员能够快速掌握并应用。在设备适配方面,对漏磁检测设备进行优化升级,提

升传感器的信号采集精度,增加信号预处理功能,减少人工预处理的工作量,提升识别效率^[5]。在人员能力方面,加强对检测人员的专业培训,使其熟悉各类干扰源的特征和识别方法,掌握信号分析的核心技巧,提升干扰源识别的准确性,避免因人员操作失误导致识别结果偏差。

(三) 识别效果的长效保障机制

建立干扰源识别效果的长效保障机制,可确保识别方法持续发挥作用,提升漏磁检测的可靠性。定期对干扰源特征库进行更新,结合实际检测中发现的新型干扰源,补充完善特征参数,确保特征库能够覆盖各类干扰情况。定期对检测设备进行校准和维护,检查传感器、磁化装置等关键部件的运行状态,及时更换磨损、老化部件,确保设备能够稳定采集信号,为干扰源识别提供可靠的数据支撑。建立识别效果验证机制,定期对干扰源识别结果进行复盘,分析识别误差的原因,优化识别方法的参数设置,持续提升干扰源识别的准确性和稳定性,为管道安全检测提供长效保障。

结语

本文围绕漏磁原理下管道内检测信号干扰源识别展开研究,明确了干扰源的类型、特征及影响机制,提出了预处理降噪、特征提取对比及多维度联合验证等识别方法,并完善了应用优化与保障措施。研究有效解决了干扰信号与缺陷信号混淆的问题,提升了识别准确性,为漏磁检测信号提纯和管道缺陷精准判断提供支撑,助力管道安全检测技术的完善与应用。

[参考文献]

- [1] 高一鸣,樊俊伟,康宜华,等. 压裂管汇交流漏磁内检测方法系统与系统[J]. 仪表技术与传感器, 2025, (06): 54-61.
- [2] 周嘉琪. 基于非均衡感应高分辨涡流阵列传感的管道内检测技术研究[D]. 电子科技大学, 2025.
- [3] 刘洋,何国军,吴杰,等. 长输管道内检测技术研究现状与展望[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(05): 36-39.
- [4] 王宏军,张洋,宫彦双,等. 中小口径集输管道内检测技术研究进展[J]. 中国特种设备安全, 2025, 41(01): 3-8.
- [5] 祁俊红. 基于频率测量电磁传感阵列的小口径管道内检测方法研究[D]. 电子科技大学, 2024.