

Research on quantitative defect identification of leakage magnetic signal in natural gas pipeline detector

Wenzhen Qian Jian Du Minggui Jia Chunqi Li

Shandong Province Natural Gas Pipeline Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250101, China

Abstract

As natural gas pipeline transportation becomes increasingly vital in energy distribution, ensuring pipeline safety has become paramount. Magnetic leakage detection technology, with its unique advantages, has emerged as the primary method for pipeline inspection. This paper focuses on quantitative defect identification of magnetic leakage signals from natural gas pipeline detectors. It provides a detailed explanation of magnetic leakage detection principles, explores signal processing techniques including preprocessing, feature extraction, and selection, systematically investigates quantitative defect identification methods encompassing both traditional and intelligent algorithms, and outlines future development trends. The research aims to provide theoretical support and technical references for enhancing the accuracy and safety of natural gas pipeline inspections.

Keywords

natural gas pipeline; magnetic leakage detection; magnetic leakage signal; quantitative defect identification

天然气管道内检测器漏磁信号量化缺陷识别研究

钱文振 杜建 贾明贵 李春奇

山东省天然气管道有限责任公司, 中国·山东 济南 250101

摘要

随着天然气管道运输在能源输送领域的地位日益重要, 确保管道安全运行成为关键。漏磁内检测技术凭借其独特优势, 成为天然气管道检测的主要手段。本文聚焦于天然气管道内检测器漏磁信号量化缺陷识别, 详细阐述漏磁检测技术原理, 深入探讨信号处理方法, 包括预处理、特征提取与选择, 系统研究量化缺陷识别方法, 涵盖传统与智能算法, 并对未来发展趋势做出展望, 旨在为提升天然气管道检测准确性与安全性提供理论支撑与技术参考。

关键词

天然气管道; 漏磁内检测; 漏磁信号; 量化缺陷识别

1 引言

作为清洁又高效能源的天然气, 在全球能源结构里的占比持续攀升, 管道运输凭借其高效、经济、安全等特性, 成为天然气输送的核心模式, 天然气管道历经长期服役阶段时, 遭受内外环境要素的干扰, 诸如腐蚀状况、机械受损、应力聚集情形, 管道内壁会出现各式各样的缺陷, 若未及时察觉并处置这些缺陷, 也许会造成天然气泄漏的后果, 引起火灾、爆炸等极具危险性的事故, 也会引发庞大的经济亏空, 还将对环境及人员安全形成重大威胁, 开展针对天然气管道的周期性检测行动, 确切辨认与量化缺陷, 对推动管道安全运行意义非凡。

就当下天然气管道检测而言, 漏磁内检测技术是应用

【作者简介】钱文振(1985—), 男, 中国山东济南人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要研究方向: 管道完整性管理、管道保护等。

颇广的技术之一, 此技术借助铁磁性材料达到磁化状态的时候, 若管道出现缺陷, 鉴于磁力线产生泄漏情形的原理, 凭借检测漏磁信号实现缺陷的识别与量化, 与另外的检测技术相比照, 漏磁内检测技术具备的优势有, 检测速度提升显著、适用范围极具广度、对体积型缺陷反应敏锐、可进行在线动态检测。在实际应用进程里, 漏磁信号易受多种因素的侵扰, 让信号复杂程度与变化性皆高, 怎样从复杂的漏磁信号中精准萃取缺陷特征, 进而实现缺陷识别的量化, 依旧是这项技术需要攻克的关键要点, 本文将开展对天然气管道内检测器漏磁信号量化缺陷识别的深入研究。

2 漏磁检测技术原理

2.1 基本原理

漏磁检测技术依赖铁磁性材料所展现的高磁导率特性, 内检测器永磁体把天然气管道磁化到饱和或者接近饱和状态的时候, 若管道没有产生缺陷, 主要是磁力线在管壁内部流通; 若管道存有缺损, 诸如腐蚀、裂缝之类, 考虑到缺陷

处磁导率与管壁材料相比远为低下,部分磁力线会逸出管壁的表面,造就漏磁态势,采用装在检测器内的磁敏传感模块,诸如霍尔传感器、巨磁阻传感器这些,可探测此类漏磁信号,然后把这些漏磁信号转变为电信号,而后着手后续数据的处理及分析环节,完成对管道缺陷的识别与精准量化。

2.2 磁化方式

在推进漏磁内检测的阶段,普遍采用的磁化方式为轴向磁化、周向磁化还有复合磁化,轴向磁化达成磁力线沿管道轴向的分布状态,主要针对管道周向缺陷检测;周向磁化让磁力线沿管道的圆周方向形成分布,适合开展管道轴向缺陷检测;复合磁化把轴向磁化和周向磁化的特点加以结合,可同步检测管道轴向及周向的缺陷,增进检测的全面覆盖性,不同磁化方式对漏磁信号的分布及特征会产生作用,实际进行应用操作期间,得依据管道的特点、检测需求去选择恰当的磁化方式^[1]。

2.3 漏磁信号产生机制

由管道缺陷产生的漏磁信号,和缺陷的形状、规格、深度以及缺陷与传感器之间的相对位置等因素紧密相关,缺陷大小扩充、深度延展明显,漏磁信号强度更高;传感器跟缺陷的间隔越近,信号强度也更高,面对多样化的缺陷类别,诸如点蚀这种缺陷、线性腐蚀这种情形、裂纹这类状况,其漏磁信号特征表现出相异特性。点蚀缺陷漏磁信号一般呈局部尖峰状;线性腐蚀缺陷所产生的漏磁信号,在轴向呈现某种长度的连续变化态势;裂纹缺陷的漏磁信号表现得较为繁复,大概会显现出尖锐的脉冲信号,也或是具有特定频率元素的信号,透彻领悟漏磁信号生成机理,乃精准识别、量化缺陷的支撑。

3 漏磁信号处理方法

3.1 信号预处理

3.1.1 降噪处理

处于漏磁信号采集的阶段时,会受到各式各样噪声的烦扰,诸如传感器固有的噪声、电磁干扰的情形、管道振动造成的噪音等,诸种噪声会把缺陷信号特征隐藏,降低缺陷识别与量化的精准度,常用的降噪途径有滤波算法,诸如低通滤波、高通滤波、带通滤波等样式,可结合噪声频率特性去选择适配的滤波器,去掉噪声信号成分,留存有效的缺陷信号;小波变换同样是一种可实现降噪目的的有效途径,它可把信号分解至不同频率尺度,采用对小波系数进行的处理方式,抑制噪声对应那部分的小波系数,由此达成降噪成效。

3.1.2 基线校正

因传感器零点漂移、检测期间温度变化之类的因素,漏磁信号会显现基线漂移态势,也就是信号的直流成分出现变动,基线漂移对信号特征的提取以及分析会产生干扰,由此应开展基线的校正行动,均值法属于常用的基线校正途径之一,经计算得出信号在特定时段的平均值,从信号当中减

去相应平均值,完成基线的精准校正;也可采用多项式拟合方法开展基线校正,采用多项式拟合方式处理信号的基线部分,厘定基线的数学抽象模型,接着把拟合基线自原始信号里减去,从而把基线漂移的影响去除。

3.2 特征提取与选择

3.2.1 时域特征提取

从漏磁信号时间域直接提取出来的参数,即所谓时域特征,常见的时域特征里有峰值、峰峰值、均值、方差以及脉冲宽度这些特征,峰峰值与峰值可反映缺陷的严重程度高低,漏磁信号的峰值与峰峰值往往更大;均值跟方差可表征信号的整体水准和起伏程度;脉冲宽度跟缺陷长度有着一定的相关性,缺陷的长度越大,漏磁信号的脉冲宽度不断变大,计算简便为这些时域特征之特性,物理意义明晰可辨,在漏磁信号分析范畴内得到普遍应用^[2]。

3.2.2 频域特征提取

频域特征为经傅里叶变换等方式把漏磁信号转换至频率域后所提取的特征参数,凭借频域的分析途径,得以获得信号频率成分以及能量分布资讯,功率谱密度能反映出信号在各个频率中的能量分布态势,特定频率处,部分缺陷或会出现能量聚集现象;频率重心所表征的是信号能量的平均频率方位,可实现对不同类型缺陷的甄别,频域特征可从另一个层面展现漏磁信号特性状况,跟时域特征联合运用,有利于提高缺陷辨识的精准水平。

3.2.3 特征选择方法

经大量特征提取操作后,并非所有特征在缺陷识别及量化中重要性均相同,而且部分特征或许存在冗余或是相互关联情况,将提升计算的复杂程度,造成模型性能弱化,有必要开展特征筛选,常用特征选择途径里有相关性分析,依靠计算特征与缺陷类型或尺寸二者间的相关系数,筛选出相关性较高的特征项;主成分分析(PCA)可把多个特征进行线性的转换,变换为少量互不牵连的主成分,这些主成分保留下原始特征的核心内容,同时让特征维度有所下降;递归特征消除(RFE)运用递归办法,清掉对模型贡献微弱的特征,逐步挑拣出最优质特征子集,科学筛选特征,可改善定量化缺陷识别模型的性能及效率。

4 定量化缺陷识别方法

4.1 基于传统模型的缺陷识别方法

4.1.1 磁偶极子模型

磁偶极子模型——常用类型 可描述漏磁信号与缺陷的关联,此模型把管道缺陷等效成磁偶极子,经过对磁偶极子产生的漏磁场加以分析,搭建漏磁信号与缺陷大小、形状间的数学关联,按照磁偶极子模型可得到,可得出漏磁信号轴向、径向分量跟缺陷参数的计算公式,进而达成缺陷的量化,磁偶极子模型归为一种简化形态模型,以实际情况论,管道缺陷磁性复杂多变,此模型应对复杂缺陷时显现出一