

# Application of weak magnetic detection technology in petrochemical pipeline integrity assurance

Jian Du Wenzhen Qian Yunfei Li Enze Wei

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

## Abstract

As critical infrastructure in the petrochemical industry, the integrity of pipelines directly impacts production safety and economic efficiency. Weak magnetic detection technology, with its unique advantages, is playing an increasingly vital role in pipeline integrity assurance. This paper provides a detailed explanation of the technical principles of weak magnetic detection, delving into its applications through pipeline inspection processes, data processing and analysis, defect identification and evaluation. It explores challenges and countermeasures in practical implementation while forecasting future development trends. The study aims to offer theoretical and technical support for enhancing pipeline integrity assurance in the petrochemical sector.

## Keywords

weak magnetic detection technology; petrochemical pipeline; integrity assurance; application analysis

## 弱磁检测技术在石化管道完整性保障中的应用

杜建 钱文振 李云飞 魏恩泽

山东省天然气管道有限责任公司, 中国·山东 济南 250101

## 摘要

石化管道作为石化行业的关键基础设施,其完整性直接关系到生产安全与经济效益。弱磁检测技术凭借独特优势,在石化管道完整性保障中发挥着日益重要的作用。本文详细阐述弱磁检测技术原理,从石化管道检测流程、弱磁检测数据的处理与分析等方面深入分析其在石化管道检测中的应用,包括检测流程、数据处理与分析、缺陷识别与评估,探讨应用中的挑战与应对策略,并对未来发展趋势做出展望,旨在为提升石化管道完整性保障水平提供理论与技术支持。

## 关键词

弱磁检测技术; 石化管道; 完整性保障; 应用分析

## 1 引言

石化管道在石油、化工等诸多领域广泛布用,执行着原油、成品油、天然气与各类化工原料的输送事宜,基于石化管道长时间处在复杂服役情形里,受诸如腐蚀、应力、机械损伤等多因素的波及,管道完整性面临极大挑战困境,对弱磁检测技术在石化管道完整性保障当中的应用展开深入剖析,在提升管道检测精度、保障管道安全运作方面,有不可忽视的现实意义。

## 2 弱磁检测技术原理

### 2.1 弱磁检测的基本原理

#### 2.1.1 磁致伸缩效应

所谓磁致伸缩效应,是铁磁性材料在磁场作用下长度

或体积会出现变动,若材料遭外力作用进而产生形变,其内部的磁场分布会出现一定的变动,对石化管道这个事物,经过长久的服役阶段,鉴于内压、外载、温度更迭等因素起作用,管道材料将出现应力与应变,该应力应变会借助磁致伸缩效应,造成管道表面磁场分布产生改变,由此引发弱磁的信号。

#### 2.1.2 磁记忆效应

所谓磁记忆效应,即铁磁性材料遭受载荷作用以后,就算载荷已去除,材料内部依旧留存特定的磁性改变,该种磁性变化跟材料曾承受的最大应力状态是有关的,在石化管道里,若管道出现缺陷或存在应力集中区,受力过程里,这些部位会形成较大应力,按照磁记忆效应原理,这些区域会衍生出独特的磁记忆特征,经由对这些磁记忆特征的探查,可鉴别管道里的缺陷以及应力集中的位置<sup>[1]</sup>。

## 2.2 弱磁检测的关键技术要素

### 2.2.1 磁传感器技术

堪称弱磁检测技术的核心要素,其性能对检测灵敏度与准确性有直接影响,弱磁检测用到的磁传感器,主要是磁

【作者简介】杜建(1984-),男,中国山东滕州人,硕士研究生,经济师、工程师,主要研究方向为长输天然气管道运营、管道完整性管理。

通门传感器、霍尔传感器、巨磁阻传感器（GMR）、隧道磁阻传感器（TMR）、原子磁力仪这些，各类磁传感器的特性与适用范畴存在差异。

### 2.2.2 信号处理与分析技术

由磁传感器获取的弱磁信号一般极其微弱，且易被各种各样的噪声干扰，应采取有效的信号处理与分析手段提取实用信息，常见的信号处理途径有滤波、降噪、放大、特征提取等不同形式，滤波技术可剔除信号里的高频噪声与低频干扰，提高信号在噪声中的占比；以小波变换、自适应滤波等为代表的降噪措施可进一步抑制噪声水平，突出呈现弱磁信号特征；放大技术可把微弱弱磁信号放大至可检测程度；特征提取可自处理后的信号提取可反映管道缺陷、应力集中现象的特征参数，诸如信号的峰度值、均值数、方差量、频率构成等，依靠对这些特征参数开展分析处理，可达成对管道完整性的估量和缺陷的辨识<sup>[2]</sup>。

## 3 弱磁检测技术在石化管道检测中的应用

### 3.1 石化管道检测流程

#### 3.1.1 检测前的准备工作

开始石化管道弱磁检测前，需开展全面且充分的筹备工作，需对检测管道基础信息开展收集与整理工作，囊括管道的材料、规格大小、铺设办法、服役年数、运行状态等，这些资料对拟定合理检测方案以及剖析检测结果有重大参考意义，要依照管道属性与检测要求，选定恰当的弱磁检测设备以及磁传感器具，还得对设备做校准、调试相关事宜，让设备性能契合检测规定，有必要对检测人员实施培训，促使其掌握检测设备操作途径及检测进程，获得信号处理与分析基础能力。

#### 3.1.2 现场检测实施

开展现场检测这一工作之际，把弱磁检测仪器安装到管道表面，让磁传感器与管道密切贴合，保障对管道表面弱磁信号精准检测，就不同种类的管道而言，不妨采用有差异的检测途径，若谈及埋地的管道，能采用便携式检测装置，顺着管道走向开展分段式检查；若涉及架空铺设的管道，能采用在线式检测系统，完成管道的实时督察，处于检测执行阶段，应维持检测设备平稳运行，杜绝因设备晃动、移动而出现干扰信号，必须规范记录检测的所处位置、时间区间等资讯，利于后续针对检测数据实施分析处理<sup>[3]</sup>。

#### 3.1.3 检测后的数据分析与报告编制

检测达成后，需针对采集得来的弱磁信号数据做分析与处理，借助信号处理技术对原始数据实施滤波、降噪之类的预处理，清理掉噪声干扰，增强信号水准，依靠特征提取跟模式辨认手段，开展对处理后信号的分析，甄别管道内或许存在的缺陷与应力集中区域，且对其位置、大小以及危害的严重度进行估算，凭借检测结果编订检测报告，报告所含内容为检测管道基本信息详情、检测采用方法、检测实际结

果、缺陷分析与评价、建议跟措施等，为管道维护与管理事务提供科学层面的依据。

### 3.2 弱磁检测数据的处理与分析

#### 3.2.1 数据预处理

鉴于开展检测期间，各类噪声会对弱磁信号产生干扰，诸如电磁干扰状况、环境背景噪声、传感器产生的各类噪声，该类噪声会干扰信号的真实表现和可靠水平，需对采集的数据开展预先的处理，数据预处理的关键目的是消除噪声的干扰，增高信号的信噪关系。普遍采用的预处理手段有低通滤波、高通滤波、带通滤波，还有如小波变换等，低通滤波可剔除信号里的高频噪声，维持低频信号成分留存；高通滤波可去除掉低频干扰，留存高频信号组分；带通滤波能筛选特定频率区间的信号，去掉非选定频率的噪声；小波变换属于时频分析手段，能对信号于不同的时间、频率尺度实施分析，依靠对小波系数的处置，可切实地去除噪声干扰，提取信号特征实质。

#### 3.2.2 特征提取与模式识别

进行特征提取时，从预处理后的弱磁信号提取能反映管道缺陷以及应力集中的特征参数，这些特征参数可充当模式识别的输入项，用以判别管道是否完整，普遍采用的特征提取方式有时域特征提取、频域特征提取及时频域特征提取，时域特征提取主要是提取诸如信号峰值、均值、方差、脉冲宽度之类的参数；频域特征提取借助傅里叶变换等手段把信号转变至频率域，提取信号频率的组成成分、功率谱这类参数；时频域特征提取以结合时域与频域分析方法为途径，好比短时傅里叶变换、小波包变换等手段，可更充分、全面地体现信号特征<sup>[4]</sup>。

模式识别借助提取的相关特征参数，采用既定分类算法对管道完整性状态予以判断，支持向量机（SVM）、人工神经网络（ANN）、决策树等属于常用模式识别办法，以统计学习理论为根基的分类手段里包含支持向量机，凭借觅取一个精良分类超平面，厘分不同类别的数据；人工神经网络呈现出极强的非线性映射与自学习本领，可自主从海量数据里摸索信号特征跟管道完整性状态的关联；决策树是采用树结构形式的一种分类途径，依靠特征参数对比与判别，逐步判定管道完整性所属类别。

### 3.3 石化管道缺陷识别与评估

#### 3.3.1 缺陷类型与特征分析

在石化管道服役阶段，也许会出现各式各样的缺损，诸如腐化迹象、裂隙迹象、孔眼迹象、变形迹象，各类型缺陷生成的弱磁信号，特征呈现出差异，正常情况下，腐蚀缺陷常引起管道壁厚变窄，引起局部磁场强度呈现变化，其弱磁信号体现为特定范围的磁场梯度变动；裂纹缺陷会引起磁力线出现异常畸变，引发显著的弱磁信号，信号特征体现为急剧脉冲或骤变；孔洞缺陷会让磁场产生局部性的泄漏，引发明显的弱磁异常区间；变形缺陷将引发管道应力分布的

转变,依靠磁致伸缩效应与磁记忆效应让弱磁信号有相应变化,经对这些缺陷特征分析归纳,可形成缺陷类型与弱磁信号特征间的对应匹配,为缺陷辨识供给支撑。

### 3.3.2 缺陷评估方法

完成管道缺陷的识别后,必须对缺陷严重程度进行评判,判定是否需对管道实施维修或替换,一般采用的缺陷评估方法,有基于信号强度的、基于缺陷尺寸反演的及基于风险的评估方法,信号强度评估法,依据弱磁信号强度大小对缺陷严重程度作出判断,信号强度不断攀高,基本上说明缺陷严重度提升;基于缺陷尺寸反演的评估做法,是设置弱磁信号跟缺陷尺寸的数学模型,借助检测到的弱磁信号反演得出缺陷尺寸,好比长度、深度、宽度等规模,进而对缺陷严重度进行评估;基于风险的评估方法综合顾及缺陷的样式、规模、所在方位,以及管道运行状况和周边环境等情形,预估管道引发事故的风险级别,依照风险等级明确对应的维护举措。

## 4 弱磁检测技术应用中的挑战与应对策略

### 4.1 应用中的挑战

#### 4.1.1 复杂环境干扰

石化管道一般处在复杂的工业环境当中,周边分布着各类电磁干扰源,诸如大型马达、变压器、高压线缆等,此等电磁干扰会对弱磁检测信号产生极具破坏性的干扰,引发信号失真态,降低检测结果精准度,管道表层的涂层、保温层以及周边金属构件等,均会干扰弱磁信号的传播与检测,抬高了检测的难度层级。

#### 4.1.2 缺陷信号的复杂性

不同种类与规格的缺陷所生成的弱磁信号呈现出复杂性和多样性,且缺陷信号往往微弱异常,往往会被噪声埋没,因管道材料的不均匀属性、应力分布的复杂属性以及检测过程中的诸多不确定方面,让缺陷信号特征提取及识别的难度增大,不易精准断定缺陷的种别、位置与严重程度大小。

#### 4.1.3 检测设备的局限性

弱磁检测设备在灵敏度、分辨率与稳定性等维度上,还存在一定的短板,难以符合对微小及复杂缺陷开展高精度检测的规范,检测设备适用范围存在一定局限,就一些材质特殊、结构特殊的管道而言,说不定不能进行有效的检测。

## 4.2 应对策略

### 4.2.1 抗干扰技术措施

为减轻复杂环境干扰对弱磁检测信号造成的干扰,可采用一系列抗干扰技术举措,采用屏蔽类技术手段,对检测设备与磁传感器采取电磁屏蔽相关举措,减少外界电磁干扰

的进犯;对检测设备电路设计进行改良,采用如滤波、降噪的电路技术,增进设备抗御干扰的实力;恰当抉择检测的时段与地点,尽可能躲开强电磁干扰源作业的时段与所处区域;在数据处理开展期间,采用自适应滤波、卡尔曼滤波等一流的信号处理手段,进一步遏制噪声的干扰现象,增强信号品质<sup>[5]</sup>。

### 4.2.2 信号处理与识别算法优化

基于缺陷信号呈现出的复杂性,得持续优化信号处理与识别算法才行,深度挖掘缺陷信号产生机制及传播特性规律,结合起先进的数学理论跟方式,恰似深度挖掘、人工智能这类,进行更有效的特征提取及模式识别算法开发,强化复杂缺陷信号的鉴别能力,构建大批的缺陷样本素材库,采集并分析不同类别、不同规格缺陷的弱磁信号,对识别算法进行训练及优化,让算法的精确性与可靠性更上一层楼。

### 4.2.3 检测设备的研发与改进

加大弱磁检测设备研发相关的投入规模,逐步提高检测设备的性能层级,研究并开发高灵敏度、高分辨率、高稳定性的新型磁传感器,增强对细微缺陷与微弱信号的探测效能;着手检测设备结构设计的优化事宜,令其更契合不同类别管道检测要求;借助前沿的制造工艺跟材料,增进设备的稳定可靠及经久耐用程度。

## 5 结语

弱磁检测技术作为一种具有独特优势的无损检测技术,在石化管道完整性保障中具有广阔的应用前景。采用实施抗干扰技术举措、优化信号处理及识别算法、开展检测设备研发改进等应对策略予以解决。未来,弱磁检测技术将朝着多技术融合之路、智能检测数据分析领域、微型便携设备研制方向拓展,逐步增进其于石化管道完整性维护中的应用水平层级,为石化行业安全稳定运转给予更可靠技术支撑。

## 参考文献

- [1] 王轲,黄成橙,王鹏.深度学习在油气管道漏磁检测领域的应用[J].无损检测,2024,46(12):93-99.
- [2] 章卫文,翁志良,孙静.细长缺陷特征对管道漏磁检测的影响研究[J].机械设计与制造工程,2024,53(11):80-84.
- [3] 陈子俨,赵弘.掺氢天然气管道氢损伤管外漏磁检测机构设计[J].机床与液压,2024,52(15):75-81.
- [4] 刘斌,罗宁,武梓涵,等.基于双磁场的管道非体积损伤检测研究[J].仪器仪表学报,2024,45(08):77-91.DOI:10.19650/j.cnki.cjsi.J2412812.
- [5] 孙杰.弱磁检测技术在石化管道完整性保障中的应用[J].无损探伤,2023,47(01):36-39.DOI:10.13689/j.cnki.cn21-1230/th.2023.01.004.