

天然气管道漏磁内检测技术分析研究

陈 磊 (中石化石油工程设计有限公司, 山东 东营 257100)

摘 要: 漏磁内检测技术具有检测结果可量化, 检测效率及可靠性较高, 且污染较等特点, 得到几十年的发展进步, 目前已经成为天然气管道无损检测领域重要的检测方法, 本文分析了漏磁检测的基本原理, 剖析了漏磁内检测技术特点, 介绍了该技术的发展历程及研究现状, 给出了漏磁内检测技术面临的的风险挑战以及未来的发展方向。

关键词: 漏磁内检测; 天然气管道; 技术特点; 基本原理; 发展方向

0 引言

管道内检测技术是利用在管道内运行的检测器探测和记录包括管道壁厚、管径、裂纹等在内的一系列缺陷, 并对检测的数据进行分析处理, 同时报告出管道缺陷信息的技术^[1]。

对于天然气管道的内检测, 由于其输送介质的可压缩性, 为维持内检测器在管道内平稳运行、收集到高质量的检测数据, 需满足一定的运行压力、速度要求。由于各家检测器的设计原理不同, 对压力、速度的要求也不一样。下图为某内检测服务商对 12~18 英寸漏磁内检测器在天然气管道中运行规定的最佳压力、速度窗口。

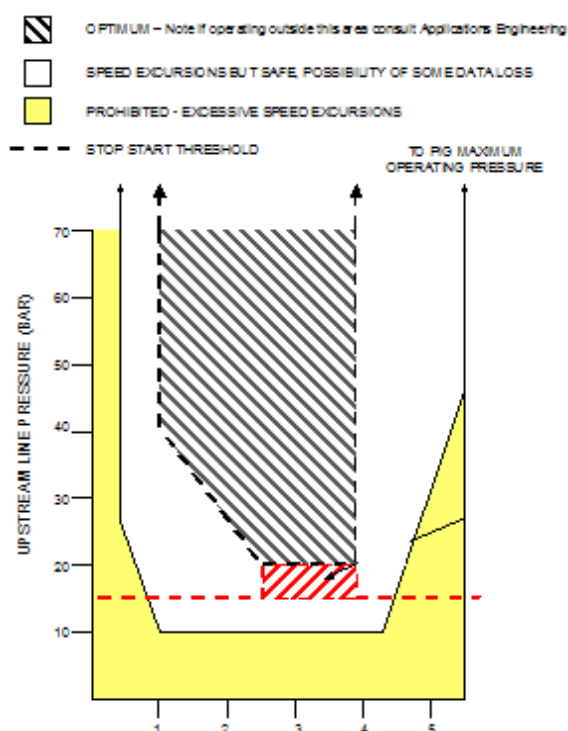


图 1 某 12~18 英寸检测器对天然气管线运行压力和速度的要求范围

黑色区域为运行内检测的最佳条件; 白色区域为运行内检测的可接受条件; 红色区域为运行内检测的可接受条件, 但需要对检测器进行特殊改造; 黄色区域: 不可接受条件。

1 漏磁内检测技术特点分析

漏磁内检测技术是利用管道钢材具有高磁导率特性, 其主要原理是: 相比于钢材完好处的, 缺陷处的磁导率较低, 钢管在磁场作用下无缺陷的钢管, 其磁力线分布均匀; 有缺陷的钢管磁力线会产生变形^[2]。

漏磁内检测技术以能够在线检测、自动化程度高、可检测出的缺陷类型多、尺寸精度和定位精度高、对管线内污物要求较低、对运行过程中的压力和流速要求范围较宽、既适用于石油液体管线又适用于天然气管体管线等独特优点, 成为到目前为止应用最为广泛的一种内检测技术, 是天然气管体检测中主要使用的手段。此外与常规的磁粉检测相比, 高清漏磁内检测技术检测结果可量化, 检测效率及可靠性较高, 且污染较低。

在 1965 年, 美国图博维高公司首次利用漏磁检测器对管道实施内检测。1973 年, 英国燃气公司 (British Gas) 开发了漏磁检测器, 对其所管辖的一条天然气管体管线实施了在线内检测, 并对其材料特征和失效机理进行了分析^[3]。

此后, 漏磁内检测技术逐步发展升级: 从第一代普通型检测器发展至今共经历了四代发展, 目前第四代为超高精度加多功能漏磁内检测器 (MF4)。

高清漏磁检测器能够探测到天然气管道内 (适用于所有类型的管道例如无缝钢管、直缝焊钢管、螺旋焊接钢管等) 如下类型的特征或缺陷:

- ①金属损失;
- ②凹陷;
- ③制造缺陷;

- ④壁厚变化;
- ⑤环焊缝缺陷;
- ⑥偏心套管;
- ⑦修复衬套。

漏磁内检测技术逐渐向精度更高、技术更全、可允许运行速度更快的方向发展,其最新发展趋势如下:

①更高的探头密度、更高的扫描频率、三轴探头收集的数据,以达到更高的金属损失缺陷测量尺寸精度和精确的金属损失缺陷类型划分;

②更高精度的几何探测能力,利用高敏感探头技术在恶劣的管线条件下收集到凹陷及其他变形缺陷的精确尺寸;

③从高精度的原始数据总获得更直观、更精确的管道应力和应变数据;

④检测器探头对管道内污物或粗糙的内表面具有更强的抵抗能力。

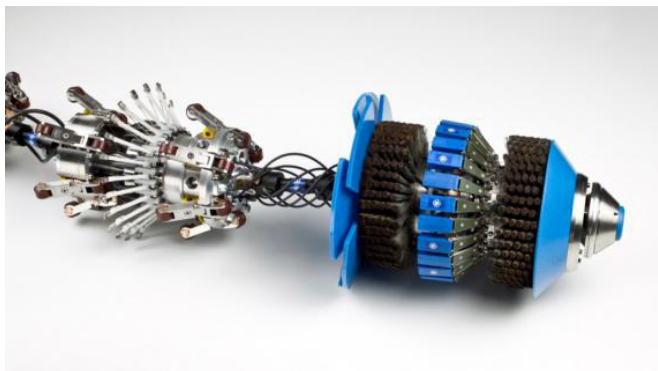


图2 某内检测公司第四代超高清漏磁内检测器

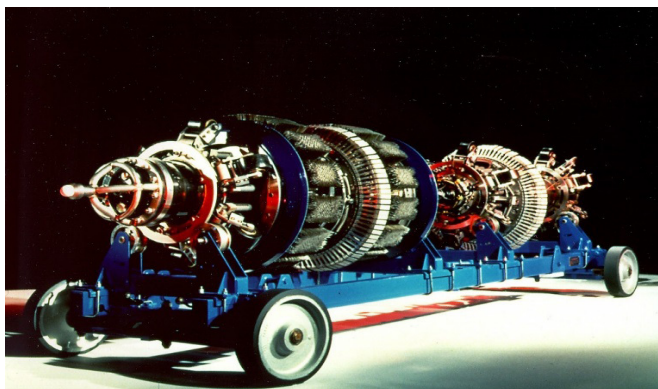


图3 GE PII 1219mm 三代高清漏磁检测设备

2 漏磁智能内检测数据判定分析

在使用漏磁智能检测器在管道内收集到原始数据后,要对数据进行处理和分析。其主要原理是:当管线缺陷和特征点引起磁路泄露时,磁力线信号就产生波动。根据观察到的磁力线波动幅度,就可以对缺陷

和特征进行归类 and 尺寸判定。

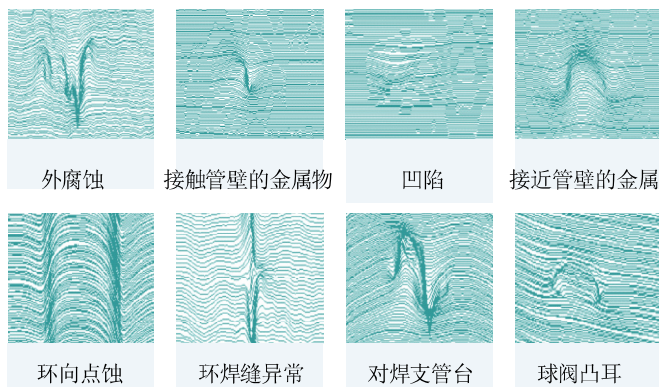


图4 各种金属损失信号代表的缺陷类型

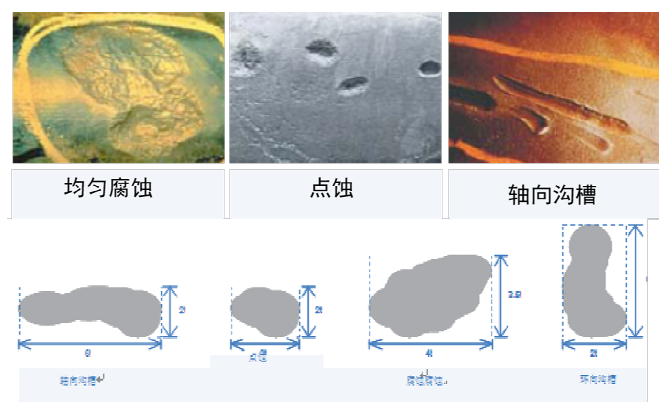


图5 真实金属损失和其对应的数据信号对比示例

3 漏磁内检测技术对环焊缝缺陷的检测能力分析

漏磁内检测器的检测精度不断提升,数据分析能力和水平的不断提高,特别是几十年来在各种管道内检测中的实践经验,使得该技术不仅能用于检测管线上的金属损失,还可以识别更多类型的管线环焊缝等缺陷。过多年的现场实践证明,高清漏磁检测技术能检测到环焊缝缺陷中的错边、内部金属损失、根部不足、管节间壁厚变化等类型。

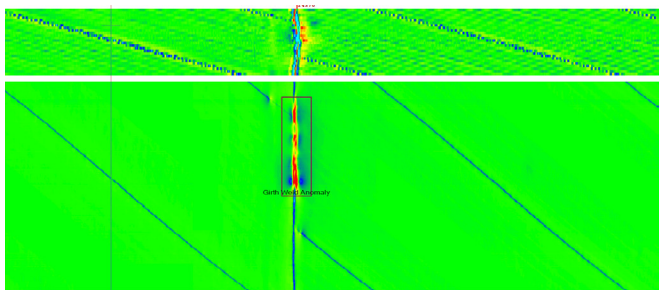


图6 环焊缝缺陷内部金属损失漏磁信号

最早于20世纪90年代国外就寻求用高清漏磁检测技术探测和识别环焊缝缺陷及其内部裂纹。漏磁

内检测技术可以清晰探测出环焊缝内部金属填充不足缺陷,如下图6所示。某检测公司利用高清漏磁技术报告出一条管道上存在16处环焊缝异常缺陷,经过开挖验证,有14处为疑似裂纹型缺陷,其中一条环焊缝裂纹缺陷如图7所示。

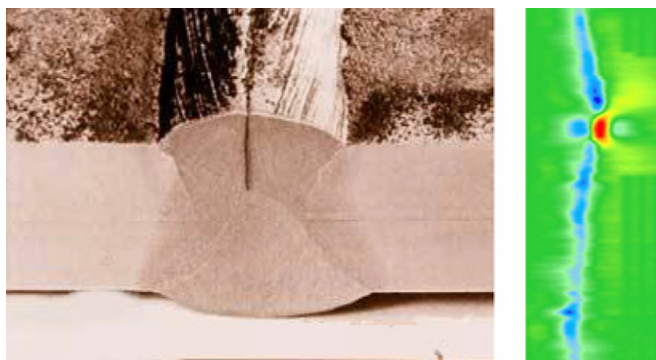


图7 漏磁检测数据中环焊缝缺陷信号及该信号对应的现场环焊缝裂纹

当前,国内外各家管道公司采取与检测服务商合作的方式,开展相关技术研究,探索漏磁内检测技术针对环焊缝裂纹型缺陷的检测能力改进方向,以期提高其对该类型裂纹的检出率。

通过大量的工程实践和牵拉试验证明,超高清漏磁内检测技术可以有效探测出环焊缝缺陷中的未焊透、焊根不足、打磨过度、甚至开度 $<0.25\text{mm}$ 细裂纹,并且给出缺陷的准确尺寸。

综上所述,随着漏磁内检测技术扫描频率提高、精度提高,在多种类型的环焊缝缺陷探测方面能力大大提高,类型包括:未焊透、焊根不足、打磨过度、甚至开度 $<0.25\text{mm}$ 细裂纹,并且给出缺陷的准确尺寸;漏磁内检测技术对于环焊缝热影响区内的深度较小的腐蚀也非常敏感,可以提供准确尺寸。漏磁内检测技术是探测环焊缝缺陷的一项重要技术。

4 漏磁内检测技术对环焊缝缺陷的检测风险与挑战

尽管该技术可以检测出多种类型环焊缝缺陷,但对开口较小的未焊透以及未熔合、以及一些小尺寸咬边的缺陷,检出率仍然较低^[4]。下图是一条某天然气管线失效环焊缝的漏磁信号图,在主信号视图中并未见明显的金属损失,按照漏磁数据分析的一般原则,不会将该特征报告为一个环焊缝异常。然而,在该环焊缝失效后,再次研究该信号,发现类型2信号有壁厚过渡、错边、余高过大等特征。因此,环焊缝缺陷的严重程度并不与其内部的金属损失深度成正比,而

漏磁技术的常规数据分析和归类原则对环焊缝缺陷的识别和风险排序具有局限性。

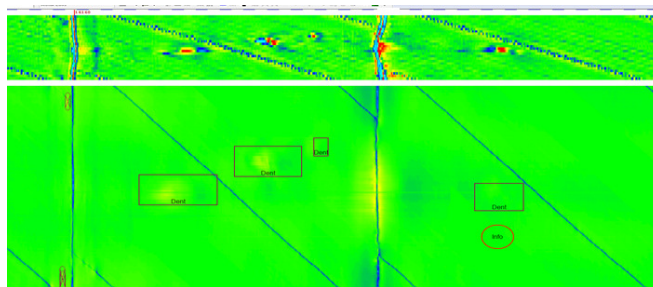


图8 某天然气管线失效环焊缝漏磁信号图

这种局限性是漏磁内检测技术原理所决定的:

①对环焊缝缺陷和裂纹的分析会受到漏磁检测器在环焊缝区域采集到的扫描间隔的限制。目前,漏磁技术普遍扫描间距为 0.3mm ;某些超高漏磁器的扫描间隔提高到了 0.2mm 。漏磁内检测技术很难捕捉到开口宽度小于 0.25mm 的微细裂纹;

②由于环焊缝及热影响区在焊接过程中由于受到了过热或过冷的处理,金属晶粒和组织结构发生了变化,漏磁检测器的磁漏曲线在该区域也会发生变化,与母材的磁漏曲线不同。环焊缝附近的漏磁信号都会受到更多干扰,环焊缝缺陷的信号很可能被干扰信号所掩盖;

③由于环焊缝内表面一般高于母材内表面,然而传感器被提离的影响会因漏磁检测器的设计结构不同而大小不一。漏磁传感器在经过环焊缝时被会不同程度地提离而影响数据质量。上述干扰因素,可能会掩盖环焊缝缺陷的一些属性,使得利用漏磁检测技术探测环焊缝缺陷特别是裂纹的难度更大。漏磁内检测技术必须结合其他检测技术,例如超声内检测技术,收集关于环焊缝缺陷其他类型的信息。

参考文献:

- [1] 宋生奎,宫敬,才建,等.油气管道内检测技术研究进展.石油工程建设,2005,31(2):10-14.
- [2] 石永春,刘剑锋,王文娟.管道内检测技术及发展趋势.工业安全与环保,2006,32(8):46-48.
- [3] 龚文何仁洋,赵宏林,等.国外油气管道内检测技术的前沿应用.管道技术与设备,2013(4):24-26.
- [4] Hwang J H, Lord W, Finite element analysis of the magnetic field distribution inside a rotating ferromagnetic bar, IEEE Transactions on Magnetism, 1974, 10(4): 1113-1118.