

文章编号：1000-8241（2017）02-0161-10

基于漏磁内检测的管道环焊缝缺陷识别与判定

王富祥 玄文博 陈健 王婷 雷铮强 杨辉

中国石油管道科技研究中心/中国石油天然气集团公司油气储运重点实验室

摘要：为了实现基于漏磁内检测的管道环焊缝缺陷的有效识别与判定，在对环焊缝异常信号特征进行理论分析的基础上，通过漏磁信号有限元仿真分析与内检测牵拉试验，系统分析了管道磁化水平、传感器提离值、环焊缝余高、环焊缝缺陷形状、位置及开口方位等因素对缺陷漏磁场的影响，明确了环焊缝缺陷与漏磁信号特征之间的对应关系，提出了基于漏磁内检测信号的环焊缝缺陷分类方法。将环焊缝缺陷分成了4类，并给出了环焊缝缺陷的漏磁内检测检出率和识别准确率。现场开挖验证结果进一步验证了识别与分类判定结果的准确性，为基于漏磁内检测的环焊缝缺陷识别与判定技术工业化应用奠定了基础。

关键词：环焊缝缺陷；漏磁内检测；缺陷识别；类型判定

中图分类号：TE973.6

文献标识码：A

doi：10.6047/j.issn.1000-8241.2017.02.007

网络出版时间：2016-11-30 9:12:55

网络出版地址：<http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1093.TE.20161130.0912.006.html>

由于建设时期技术水平限制和现场焊接施工质量控制等问题，国内部分管道投产运行后存在严重的未熔合、未焊透、填充不足、过度打磨等环焊缝焊接缺陷^[1-2]。据不完全统计，中国石油2011年以来已发生了8起新建管道环焊缝开裂事故^[3-4]。该类事故具有开裂长度长、泄漏量大的特点，易对周边人员安全和环境造成严重威胁。特别是部分管道存在抢修困难、停输要求严格、环境敏感点多等问题，一旦在维抢修困难的地区或者敏感水体等附近发生环焊缝开裂事故，后果严重且难以得到有效控制^[4-6]。

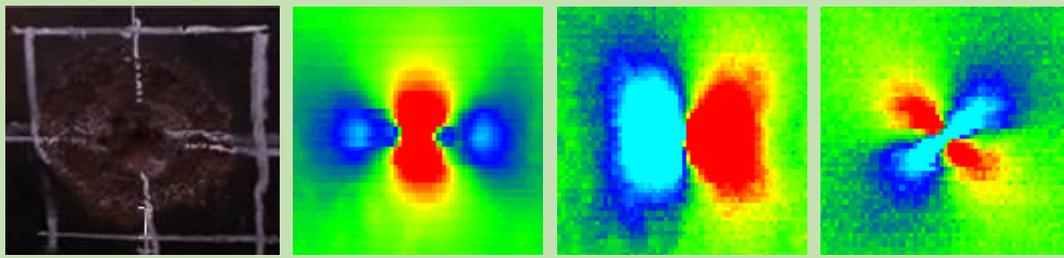
漏磁内检测技术因其对管道内环境要求不高、无需耦合、适用范围广、价格低廉等优点，成为目前应用最广泛、最成熟的内检测技术，也是用于环焊缝缺陷检测最有前途的技术^[7-9]。管道环焊缝在现场焊接完成，受环境、设备、人员及现场施工的影响，不同环焊缝的形貌与焊接质量差异较大，导致漏磁内检测信号的差异也较大。开展漏磁内检测时，管道环焊缝缺陷信号识别与判定基准难以确定，导致环焊缝缺陷难以有效识别与判定。因此，研究基于漏磁内检测的环焊缝缺陷识别与判定方法，对于保证管道安全运行具有重要意义。

1 环焊缝缺陷漏磁内检测信号特征

管道漏磁内检测的漏磁场是空间三维矢量场。目前普遍采用的轴向磁化的三轴漏磁内检测器在一个探头中安装了三向正交霍尔传感器，可以分别测量轴向、径向及周向的磁通量数据，实现完整的三维漏磁场矢量的确定，提高了缺陷形状与尺寸的检测精度^[10-12]。

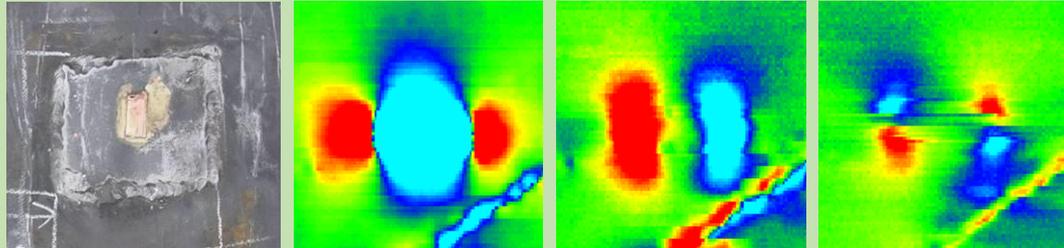
1.1 金属损失与金属增加漏磁信号

在识别漏磁信号特征之前，首先要明确金属损失与金属增加的漏磁内检测信号特征，这是识别环焊缝缺陷的基础^[13-16]。当传感器通过典型金属损失（腐蚀缺陷）时，三轴漏磁信号的形状与强度变化依赖于检测到的腐蚀缺陷的形状与尺寸，对于任何单个腐蚀缺陷，峰的数量和极性是相同的（图1）：轴向信号有一个（带有两个较小负峰的）正峰；径向信号有一负一正两个峰；周向信号在一个近似矩形的范围内有两正两负四个峰。与金属损失相比，典型金属增加（焊接金属物）峰的数量及分布与其相同，但极性相反（图2）。



(a) 腐蚀缺陷 (b) 轴向信号 (c) 径向信号 (d) 周向信号

图1 金属损失及其三轴漏磁内检测信号

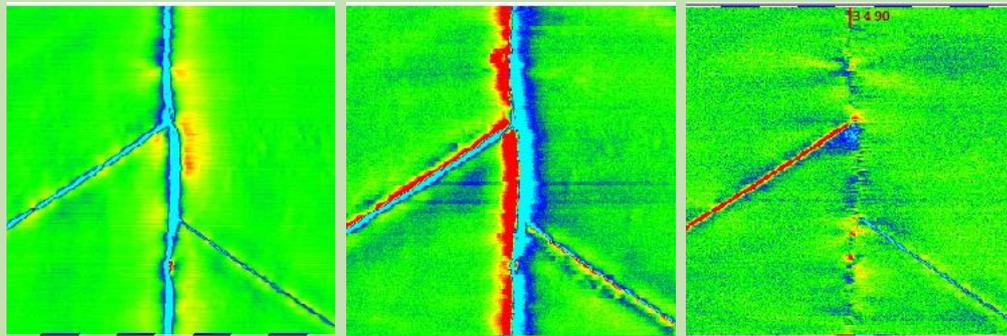


(a) 焊接金属物 (b) 轴向信号 (c) 径向信号 (d) 周向信号

图2 金属增加及其三轴漏磁内检测信号

1.2 正常环焊缝漏磁信号

管道环焊缝由于焊接连接在焊缝内外表面形成的余高导致壁厚增大，根据某管道正常环焊缝的三轴漏磁信号（图 3）可得：环焊缝的轴向信号和径向信号特征与金属增加信号的特征一致，轴向信号为一个负峰，径向信号有一正一负两个峰，而周向信号的特征不明显，这是由于环焊缝沿整个圆周对称分布，周向漏磁场变化不明显造成的。



(a) 轴向信号 (b) 径向信号 (c) 周向信号

图3 正常环焊缝三轴漏磁内检测信号

1.3 环焊缝缺陷漏磁信号

漏磁内检测器能够探测并识别出未熔合、未焊透、填充不足等焊接不良导致的具有一定体积金属损失的环焊缝缺陷（图 4），其漏磁信号的特征表现为：轴向信号和径向信号与金属损失的极性指示一致，轴向信号有一个正峰，径向信号有一负一正两个峰，周向信号在缺陷两端分别有一正一负与一负一正共四个峰。当缺陷两端深度变化不显著或焊缝成形不良时周向信号通常不明显，因此主要通过轴向信号与径向信号来识别与判定环焊缝缺陷。

上述分析表明：对于具有一定金属损失的环焊缝缺陷，在缺陷位置具有与金属损失极性一致的类似三轴漏磁信号，其信号的位置、形状及强度与环焊缝缺陷的位置、形状及尺寸相关。

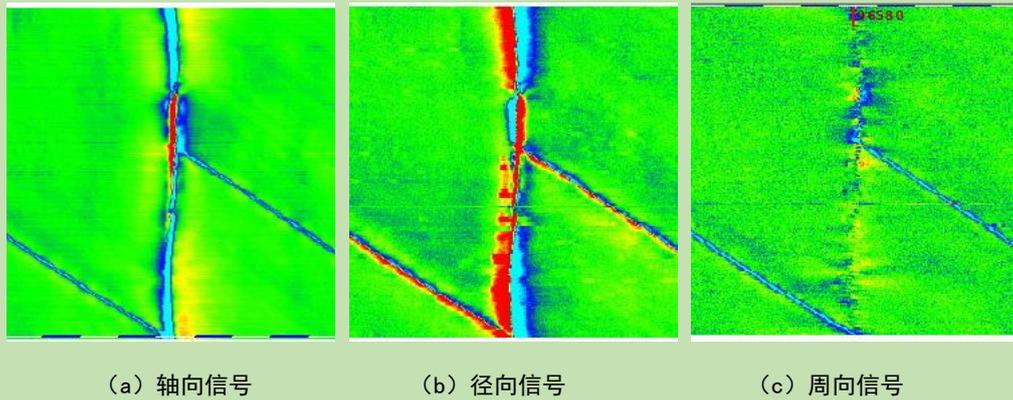


图4 环焊缝缺陷三轴漏磁内检测信号

2 环焊缝缺陷漏磁内检测信号仿真分析

选取长度为 1 m、壁厚为 16 mm、材质为 X52、直径为 813mm 的管道作为研究对象，不考虑焊缝金属与母材的电磁特性差异，管道外部余高设为 2 mm（模拟焊缝余高影响时外部余高设为 0~4 mm），内部余高设为 0.5 mm。利用 ANSYS 开展环焊缝缺陷漏磁信号的有限元仿真，分析管道磁化水平、传感器提离值、环焊缝外部余高、环焊缝缺陷形状、位置及开口方位等因素对缺陷漏磁场的影响，进一步验证环焊缝缺陷信号特征理论分析结果，明确环焊缝缺陷参数与漏磁信号特征之间的关系^[17-20]。

2.1 管道磁化水平

在不同磁化水平下，对传感器提离值为 5 mm、尺寸为 6 mm×8 mm 的同一埋藏环焊缝缺陷进行仿真分析，得到缺陷处轴向和径向磁通密度曲线图（图 5）。分析结果表明：在漏磁内检测时，管道必须处于饱和磁化状态，缺陷处漏磁场强度才会发生显著改变，才能有效检测出存在的环焊缝缺陷；被检测出的缺陷的轴向漏磁信号呈现为典型的正峰，径向漏磁信号呈现为一负一正两个峰。

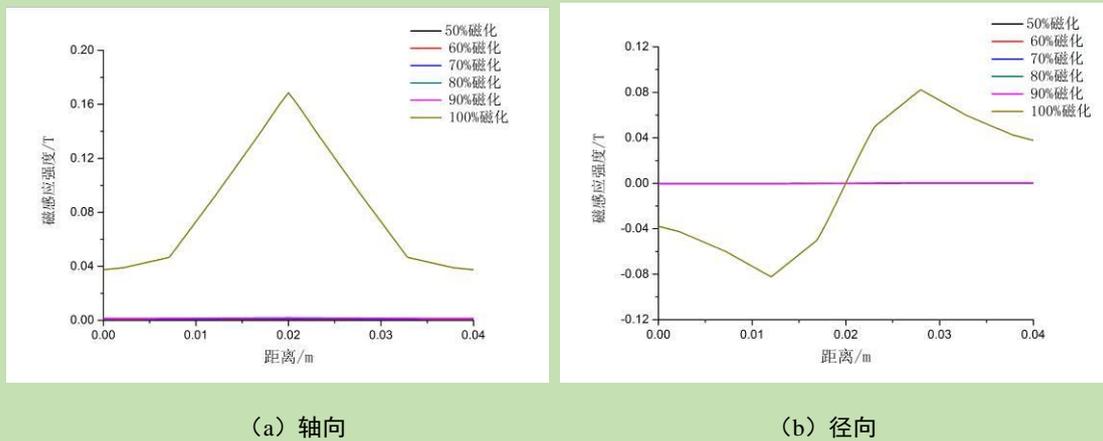
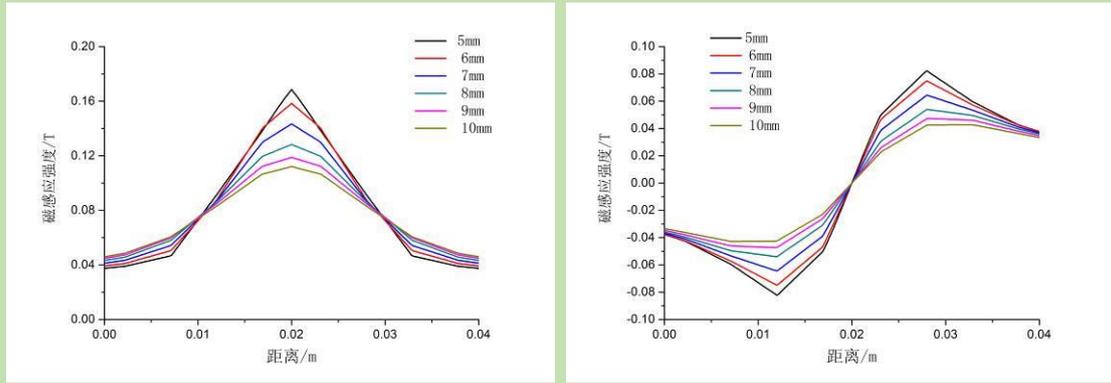


图5 不同磁化水平对应的环焊缝缺陷磁通密度曲线图

2.2 传感器提离值

当传感器提离值为 5~10 mm 时，仿真得到尺寸为 6 mm×8 mm 的同一埋藏环焊缝缺陷处轴向和径向磁通密度曲线图（图 6）。分析表明：不同提离值对应的轴向漏磁信号均呈现为典型的正峰，径向漏磁信号均呈现为一负一正两个峰；传感器提离值对漏磁场形貌与强度影响较大，且与缺陷轴向和径向漏磁场强度变化量呈非线性负相关；内部余高等引起的传感器提离值变化是导致漏磁内检测对环焊缝缺陷识别判定能力与量化精度下降的重要因素。



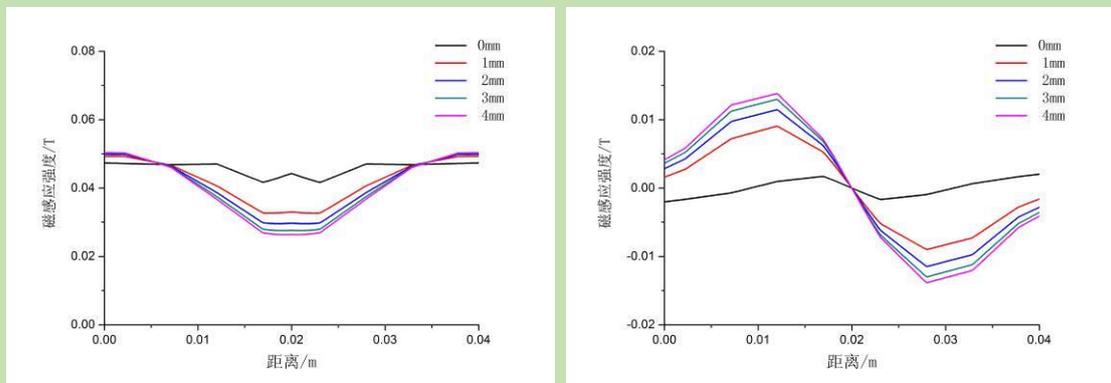
(a) 轴向

(b) 径向

图6 不同提高值对应的环焊缝缺陷磁通密度曲线图

2.3 环焊缝外部余高

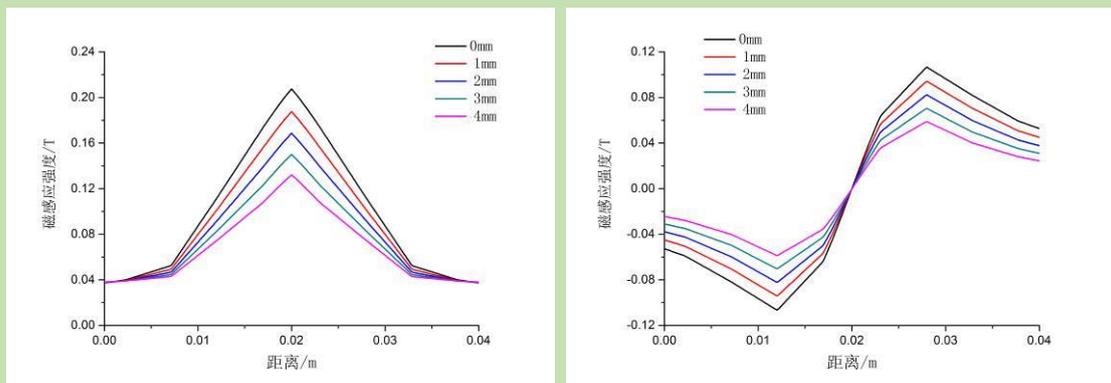
当环焊缝外部余高为0~4 mm时（内部余高为0.5 mm），仿真得到提高值为5 mm的环焊缝处磁通密度曲线图（图7）和同一埋藏环焊缝缺陷（尺寸为6mm×8 mm）处磁通密度曲线图（图8）。分析表明：不同外部余高的环焊缝轴向漏磁信号均呈现为典型的负峰，径向漏磁信号均呈现为一正一负两个峰，且环焊缝处轴向和径向漏磁场强度变化量与焊缝余高变化呈非线性正相关；不同外部余高的环焊缝缺陷轴向漏磁信号均呈现为典型的正峰，径向漏磁信号均呈现为一负一正两个峰，环焊缝缺陷处轴向和径向漏磁场强度变化量与焊缝余高变化呈非线性负相关；环焊缝缺陷尺寸与焊缝余高变化是影响环焊缝缺陷识别判定及量化精度的另一重要因素。



(a) 轴向

(b) 径向

图7 不同外部余高对应的环焊缝磁通密度曲线图



(a) 轴向

(b) 径向

图 8 不同外部余高对应的环焊缝缺陷磁通密度曲线图

2.4 环焊缝缺陷的形状、位置及开口方位

当提离值为 5 mm 时，对横截面积相同的圆形、方形及椭圆形埋藏环焊缝缺陷仿真，得到环焊缝处磁通密度曲线图（图 9）；对位于外壁不同位置（相对介质流动方向位于环焊缝的上游、中部和下游）的同一尺寸环焊缝缺陷仿真，得到环焊缝缺陷处磁通密度曲线图（图 10）。综合分析表明：不同形状、不同位置的环焊缝缺陷其轴向漏磁信号均呈现为典型的正峰，径向漏磁信号均呈现为一负一正两个峰；横截面积相同的环焊缝缺陷，其形状影响漏磁信号的形状与幅值，漏磁场强度变化量方形最大、圆形次之、椭圆形最小；环焊缝缺陷位于外壁的位置（上游、中部和下游）与该缺陷漏磁场轴向、径向曲线的位置相对应。

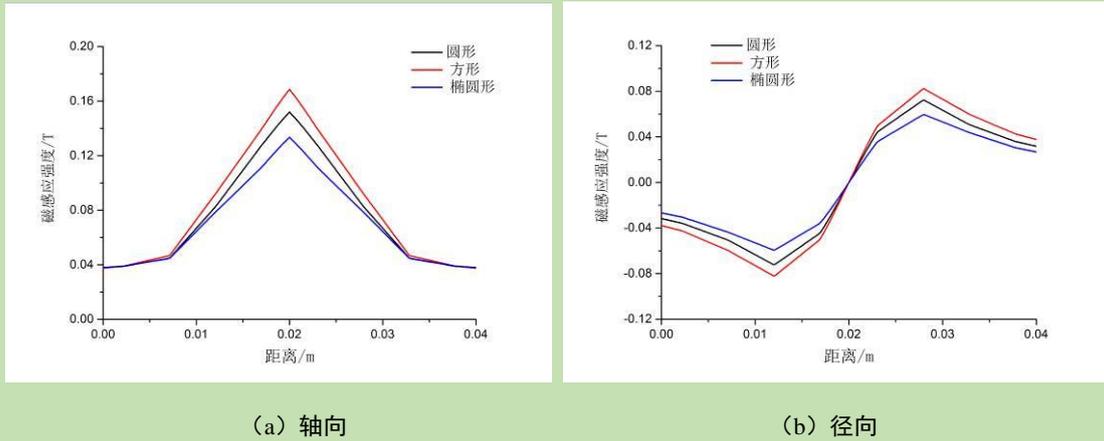


图 9 不同形状环焊缝缺陷对应的磁通密度曲线图

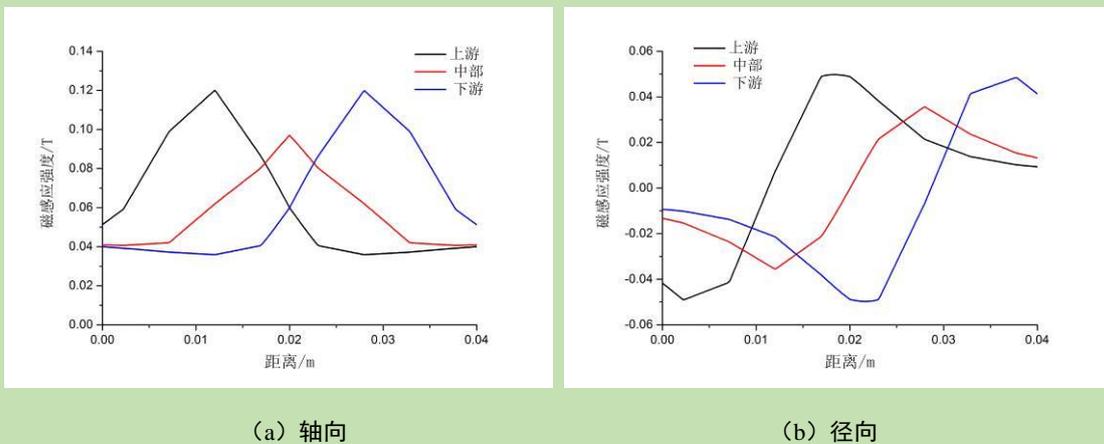
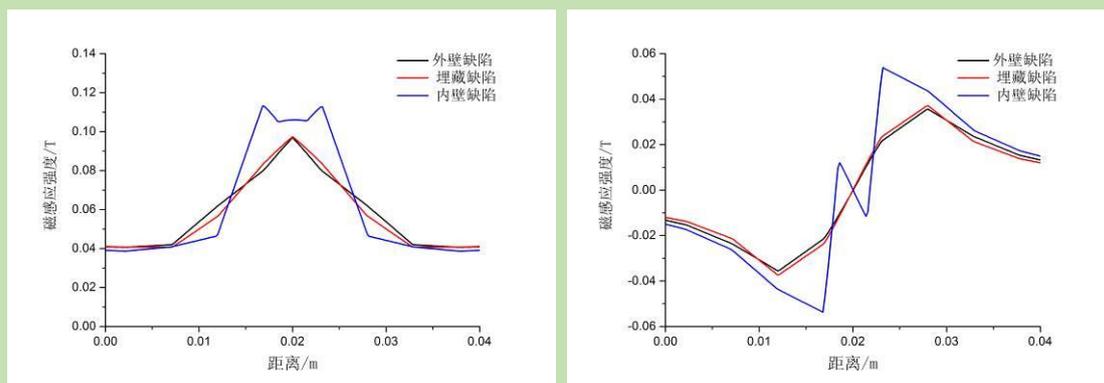


图 10 不同位置环焊缝缺陷对应的磁通密度曲线图

当提离值为 5 mm 时，对相同尺寸（3 mm×6 mm）的内壁缺陷、埋藏缺陷及外壁缺陷仿真，得到环焊缝缺陷处的磁通密度曲线图（图 11）。分析表明：埋藏缺陷和外壁缺陷的轴向漏磁信号均呈现为典型的正峰，径向漏磁信号均呈现为一负一正两个峰，由于边界效应的存在，内壁缺陷在缺陷边缘形貌发生改变；不同开口方位的环焊缝缺陷轴向漏磁场强度均增大；埋藏缺陷和外壁缺陷的轴向、径向曲线基本一致，轴向、径向峰值变化量均小于内壁缺陷。



(a) 轴向

(b) 径向

图 11 不同开口方向环焊缝缺陷对应的磁通密度曲线图

综合以上分析可得，环焊缝缺陷与漏磁信号之间关系密切，有限元仿真可验证理论分析结果，并为环焊缝缺陷的识别、判定及分类提供依据和指导。

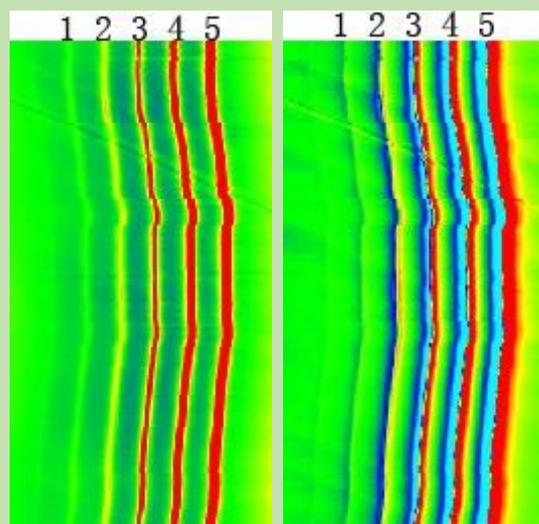
3 环焊缝缺陷漏磁内检测牵拉试验

为验证上述理论分析与有限元仿真分析结果，在某直径为 813 mm、壁厚 12.5 mm 的管道上设计加工了不同类型、位置、尺寸、形貌与开口方向的环向金属损失校验环、环焊缝填充不足校验环及环焊缝缺陷（图 12），通过漏磁内检测牵拉试验系统分析了环焊缝缺陷与漏磁信号特征之间的关系，验证并建立了基于漏磁检测的环焊缝缺陷识别与判定方法。



图 12 环焊缝缺陷漏磁内检测牵拉试验管道图

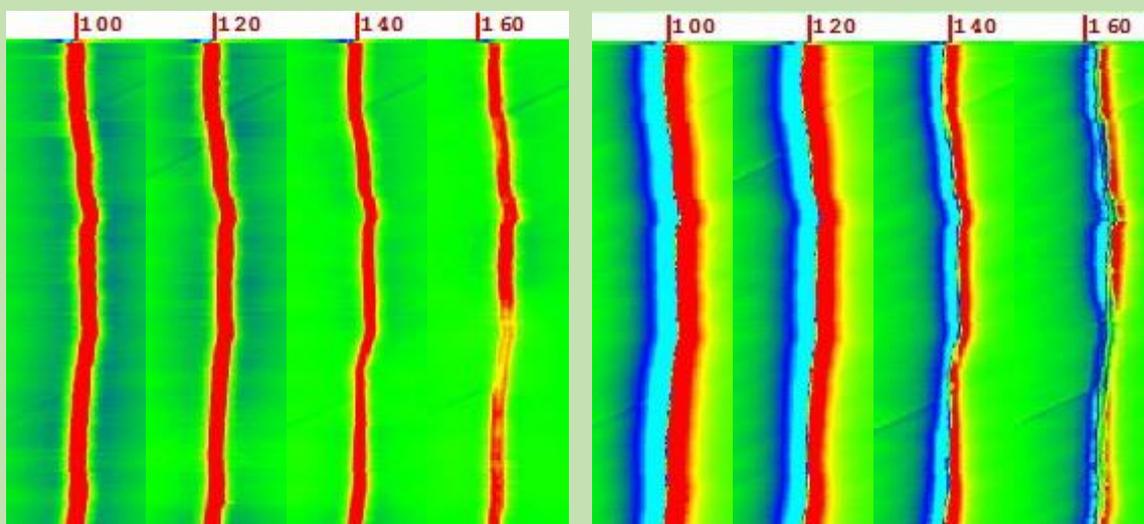
5 条环向金属损失校验环（图 13）与 4 条环焊缝填充不足校验环（图 14）轴向漏磁信号均呈现为典型的正峰，径向漏磁信号均呈现为一负一正两个峰，其轴向与径向漏磁信号极性与金属损失一致，与正常环焊缝漏磁信号极性相反，校验环牵拉试验结果验证了上述环焊缝缺陷特征分析与有限元仿真结果的正确性。



(a) 轴向

(b) 径向

图 13 环向金属损失校验环漏磁内检测信号



(a) 轴向

(b) 径向

图 14 环焊缝填充不足校验环漏磁内检测信号

对 4 条环焊缝上的 48 处环焊缝缺陷（每条环焊缝上的缺陷宽度不变，分别为 1.5 mm、3.0 mm、5.0 mm、8.0mm）进行漏磁内检测（图 15），由于每条环焊缝上的 12 处环焊缝缺陷间距较近（环向间距为 150 mm），当缺陷较宽较深时部分缺陷轴向信号之间存在交叠。结合设计加工环焊缝缺陷的位置、尺寸、形貌及开口方向等参数进一步分析表明：对于完全饱和磁化的管道，漏磁内检测能够有效识别出具有一定开口宽度的环焊缝缺陷；由于内部焊瘤与壁厚变化等引起传感器提离值变化，从而导致对部分环焊缝缺陷的识别能力及判定精度下降；环焊缝余高相当于焊缝处壁厚增大，信号特征显示为金属增加；环焊缝填充不足等造成的内凹相当于焊缝处壁厚减小，信号特征显示为金属损失；利用环焊缝缺陷信号特征的位置与形貌能够较好地判定环焊缝缺陷的位置并一定程度地回归环焊缝缺陷的形貌；由于受环焊缝内余高及焊缝形貌等因素影响，漏磁内检测难以有效判定环焊缝缺陷在壁厚中的位置，即缺陷为内部缺陷、外部缺陷还是埋藏缺陷。

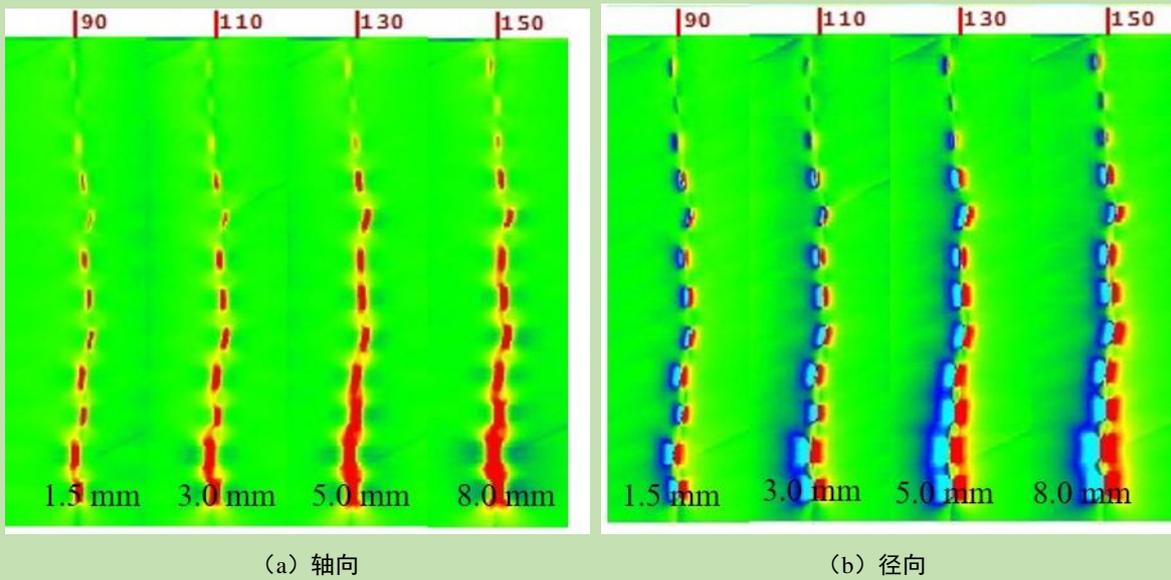


图 15 环焊缝缺陷漏磁内检测信号

牵拉试验统计分析显示，三轴漏磁内检测对开口宽度 1.5 mm 以上的约 100 个人工预制环焊缝缺陷的探测概率达到 92%，表明漏磁内检测对环焊缝缺陷的探测能力基本满足工业化应用的需求。

4 环焊缝缺陷分类

根据理论分析、有限元仿真以及牵拉试验获取的漏磁内检测信号特征，并结合与现场检测管道环焊缝缺陷信号特征对比分析结果，基于环焊缝缺陷信号特征的形貌、强度、位置等信息，统计得出所有环焊缝缺陷可以被划分为 4 种类型的信号（图 16）。“0”为正常环焊缝的信号特征，“1”为焊道未焊满、过度打磨以及严重未熔合、未焊透等具有较大体积金属损失的信号特征，“2”为焊缝未熔合、未焊透等的信号特征，“3”为焊缝内凹、盖帽金属损失等的信号特征，“4”为侧壁过度打磨、较大错边或咬边等的信号特征。

对相同的环焊缝缺陷内检测数据，不同的分析人员分别进行缺陷类型的识别、判定与分类，统计显示准确度超过 75%。

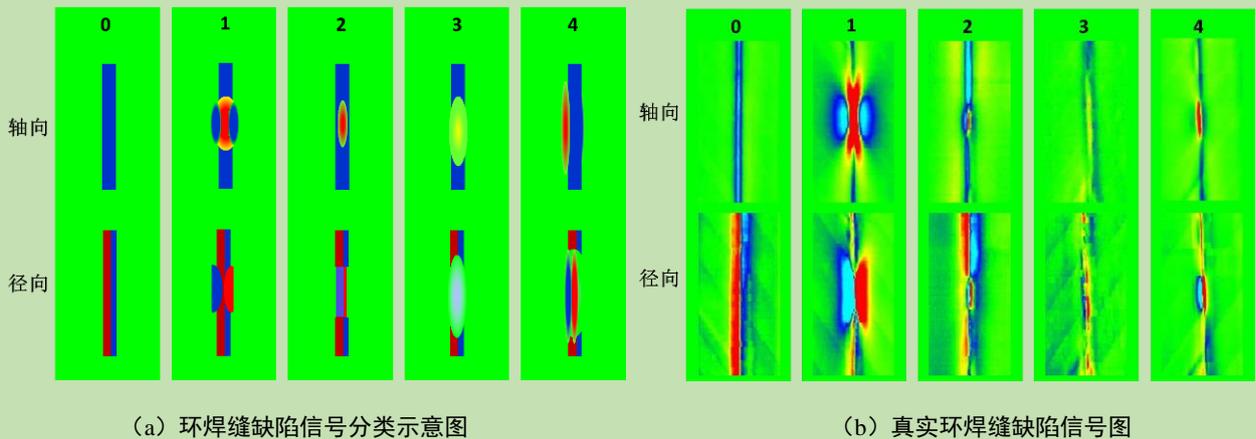


图 16 漏磁内检测信号分类与真实环焊缝缺陷信号

5 环焊缝缺陷开挖验证

结合某管道漏磁内检测开挖验证与缺陷维修现场测量，共完成了 137 处环焊缝缺陷的现场开挖无损检测结果与漏磁内检测结果对比分析，结果显示：漏磁内检测识别的 137 处环焊缝缺陷大部分为金属损失类

缺陷和具有一定开口宽度的未熔合、未焊透缺陷（表 1，图 17~图 19）。根据环焊缝缺陷分类模型对环焊缝缺陷进行了分类统计，结果显示 137 处环焊缝缺陷中 104 处信号特征分类与缺陷类型相符，符合率达 76%，基本能够满足工程应用的需求。

表 1 管道环焊缝缺陷开挖验证结果与信号类型对应表

缺陷类型	缺陷数量/（处）	缺陷信号特征分类统计/（处）				缺陷与信号类型符号数量/（处）
		1 类	2 类	3 类	4 类	
内凹、盖帽金属损失	78	3	7	55	13	58
根部未熔合、未焊透	41	12	25	1	3	37
夹渣、气孔	9	2	1	4	2	2
错边、咬边	6	2	0	0	4	4
砂轮打磨	3	1	0	0	2	3

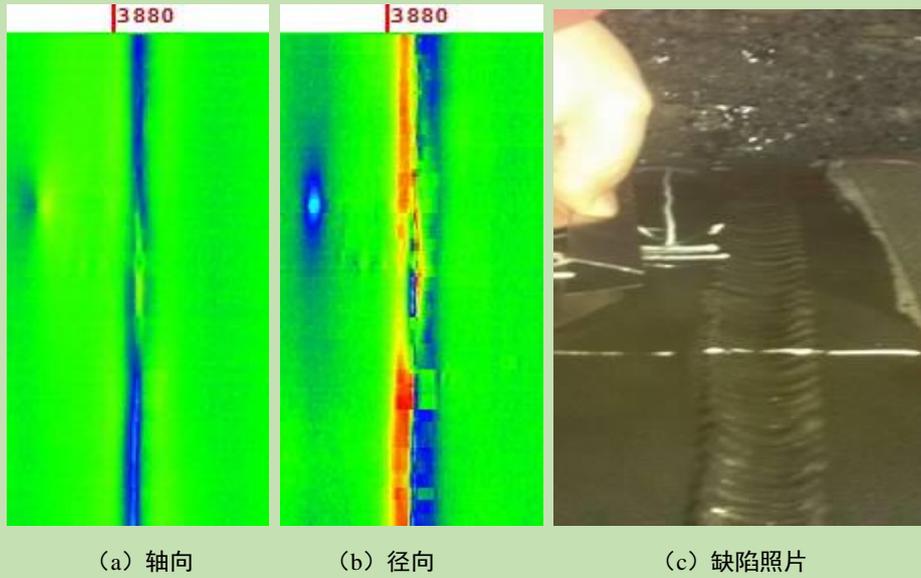


图 17 环焊缝盖帽区内凹缺陷

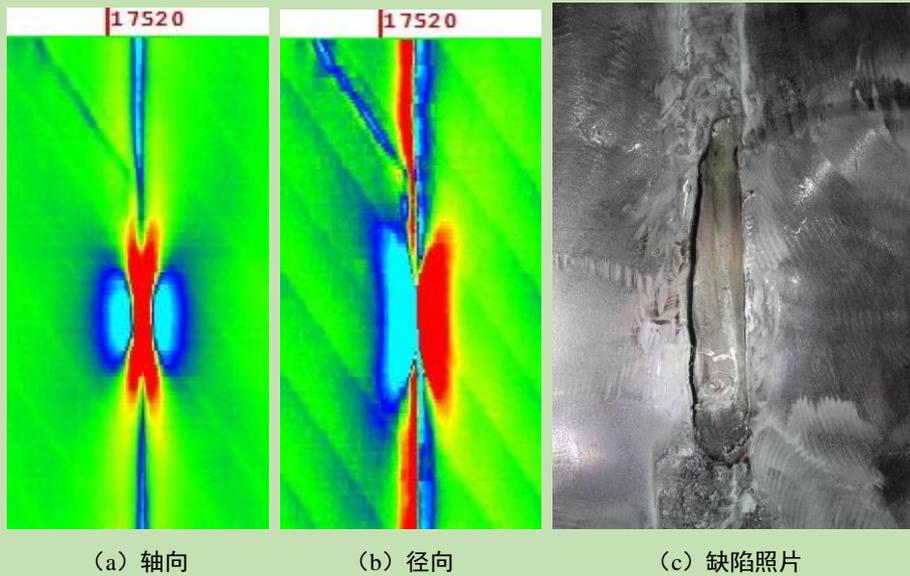


图 18 环焊缝盖帽区砂轮损伤缺陷

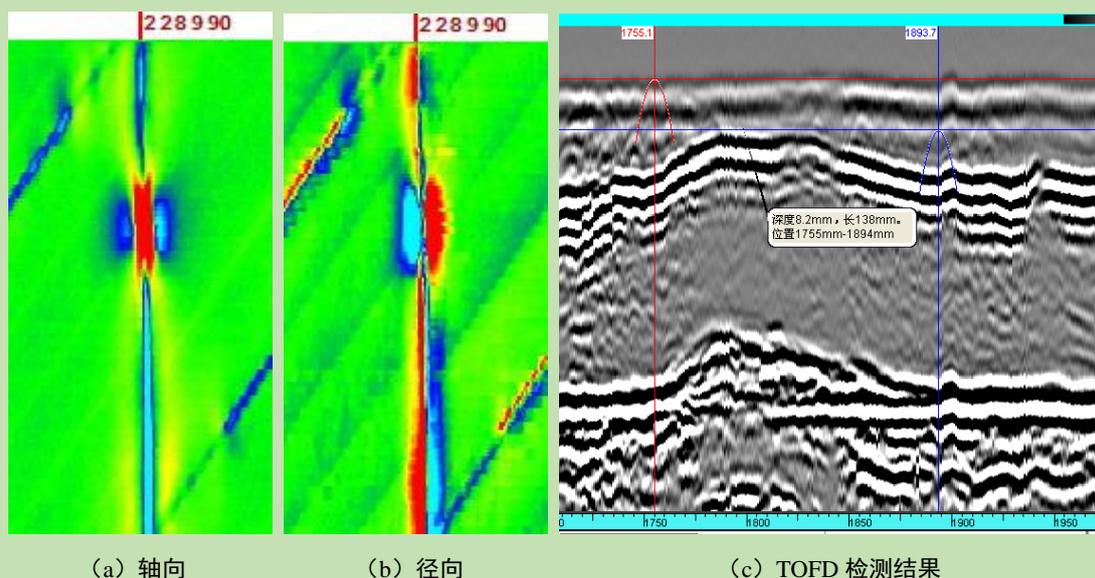


图 19 环焊缝根部未熔合缺陷

6 结论

根据漏磁内检测原理与环焊缝缺陷漏磁信号特征分析结果,开展了环焊缝缺陷漏磁有限元仿真与牵拉试验验证研究,系统分析了管道磁化水平、传感器提离值、环焊缝余高、环焊缝缺陷形状、位置及开口方位等因素对缺陷漏磁场的影响,明确了环焊缝缺陷与漏磁信号特征之间的对应关系,提出了基于漏磁内检测信号的环焊缝缺陷识别与判定方法,并将缺陷信号划归为 4 种类型。通过对大量实测数据的分析可得:漏磁内检测技术对体积型和具有一定开口宽度的未熔合、未焊透环焊缝缺陷的漏磁内检测检出率达到 92%,识别准确率超过 75%,类型判定准确率达到 76%,为基于漏磁内检测的环焊缝缺陷识别与判定方法的工业化应用奠定了基础。

参考文献:

- [1] 赵金兰, 雷俊杰, 王高峰, 等. 油气输送管道对接环焊缝缺陷检测分析[J]. 焊管, 2013, 36 (11): 43-47.
ZHAO J L, LEI J J, WANG G F, et al. Detection analysis of oil and gas transportation pipeline butt joint circumferential weld defects [J]. Welded Pipe and Tube, 2013, 36 (11): 43-47.
- [2] 李谦益, 逯燕玲, 朱建国. 油气输送管道的焊接施工质量控制[J]. 焊接技术, 2004, 33 (3): 63-65.
LI Q Y, LU Y L, ZHU J G. Welding construction quality control of oil and gas transportation pipeline[J]. Welding Technology, 2004, 33 (3): 63-65.
- [3] 王婷, 玄文博, 周利剑, 等. 中国石油油气管道失效数据管理问题及对策[J]. 油气储运, 2014, 33 (6): 577-581.
WANG T, XUAN W B, ZHOU L J, et al. Issues in PetroChina's management of pipeline failure data and corresponding solutions[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2014, 33 (6): 577-581.
- [4] 王婷, 杨辉, 冯庆善, 等. 油气管道环焊缝缺陷内检测技术现状与展望[J]. 油气储运, 2015, 34 (7): 694-698.
WANG T, YANG H, FENG Q S, et al. Current status and prospect of inline inspection technologies for defects in girth weld of oil and gas pipeline [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2015, 34 (7): 694-698.
- [5] 李平全. 油气输送管道失效事故及典型案例[J]. 焊管, 2005, 28 (4): 76-84.
LI P Q. Failure accidents and typical cases of oil and gas transportation pipeline [J]. Welded Pipe and Tube, 2005, 28 (4): 76-84.
- [6] 胡美娟, 刘迎来, 朱丽霞, 等. 天然气输送管道环焊缝泄漏失效分析[J]. 焊管, 2014, 37 (2): 56-63.
HU M J, LIU Y L, ZHU L X, et al. Leakage failure reason analysis of circumferential weld for natural gas pipeline[J]. Welded Pipe and Tube, 2014, 37 (2): 56-63.
- [7] 王富祥, 冯庆善, 王学力, 等. 三轴漏磁内检测信号分析与应用[J]. 油气储运, 2010, 29 (11): 815-817.
WANG F X, FENG Q S, WANG X L, et al. Signal analysis and application of tri-axial MFL sensors for pipeline in-line inspection[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2010, 29 (11): 815-817.

- [8] SCOTT M, FRANK S. Advances in feature identification using tri-axial MFL sensor technology[C]. Calgary: 6th International Pipeline Conference, 2006: IPC2006-10327.
- [9] 杨理践, 耿浩, 高松巍. 长输油气管道漏磁内检测技术[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37 (8): 1736-1746.
YANG L J, GENG H, GAO S W. Magnetic flux leakage internal detection technology of the long distance oil pipeline[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37 (8): 1736-1746.
- [10] 冯庆善. 在役管道三轴高清漏磁内检测技术[J]. 油气储运, 2009, 28 (10) 72-75.
FENG Q S. Three-axis high-resolution MFL internal inspection technology for in-service pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2009, 28 (10) 72-75.
- [11] 杨理践, 邢磊, 高松巍. 三轴漏磁缺陷检测技术[J]. 无损探伤, 2013, 37 (1): 9-12.
YANG L J, XING L, GAO S W. Tri-axial Magnetic flux leakage defect detection technology[J]. NDT, 2013, 37 (1): 9-12.
- [12] 燕冰川, 冯庆善, 贾光明, 等. 基于三轴高清漏磁内检测的完整性评价技术[J]. 理化检验-物理分册, 2013, 49: 21-24.
YAN B C, FENG Q S, JIA G M, et al. Integrity assessment based on three axial magnetic flux leakage in-line inspection technology [J]. PTCA (PART A: PHYS TEST), 2013, 49: 21-24.
- [13] 王富祥, 冯庆善, 张海亮, 等. 基于三轴漏磁内检测技术的管道特征识别[J]. 无损检测, 2011, 33 (1): 79-84.
WANG F X, FENG Q S, ZHANG H L, et al. Identification of pipeline feature via tri-axial magnetic flux leakage technology for in-line inspection [J]. Nondestructive Testing, 2011, 33 (1): 79-84.
- [14] NESTLEROTH B, RUST S W, BURGOON D, et al. Determining corrosion defect geometry from magnetic flux leakage pig data[C]. Denver: NACE International Annual Conference and Exposition, 1996: NACE-9604.
- [15] 高松巍, 郑树林, 杨理践. 长输管道漏磁内检测缺陷识别方法[J]. 无损检测, 2013, 35 (1): 38-41.
GAO S W, ZHENG S L, YANG L J. Method of defect recognition of magnetic flux leakage inner detection for pipeline[J]. Nondestructive Testing, 2013, 35 (1): 38-41.
- [16] CHOLOWSKY S, WESTWOOD S. Tri-axial sensors and 3-dimensional magnetic modelling of defects combine to improve defect sizing from magnetic flux leakage signals[C]. Victoria: NACE Northern Area Western Conference, 2004: 1-8.
- [17] 李明忠, 丁克勤, 张有忱. 油气输送管道漏磁检测的有限元分析[J]. 油气储运, 2003, 22 (5): 14-17.
LI M Z, DING K Q, ZHANG Y C, et al. Analysis of FEA in magnetic flux leakage detecting of oil and gas transport pipeline network [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2003, 22 (5): 14-17.
- [18] PAN D M, GUO B, LIU M Y, et al. Numerical Simulation of Magnetic Flux Leakage Inspection of Pipelines [C]. Beijing: The Twentieth International Offshore and Polar Engineering Conference, 2010: 104-108.
- [19] 郑彪华, 何文, 周松强, 等. 管道缺陷漏磁检测的三维有限元仿真分析[J]. 中国安全科学学报, 2013, 23 (12): 35-41.
ZHENG B H, HE W, ZHOU S Q, et al. Research on numerical simulation of three-dimensional magnetic flux leakage inspection of pipeline defects[J]. China Safety Science Journal, 2013, 23 (12): 35-41.
- [20] 李莺莺, 靳世久, 魏茂安. 管道漏磁法检测的 ANSYS 仿真研究[J]. 无损检测, 2005, 27 (2): 72-76.
LI Y Y, JIN S J, WEI M A. Imitating research on magnetic flux leakage testing of pipeline using ANSYS[J]. Nondestructive Testing, 2005, 27 (2): 72-76.

(收稿日期: 2016-02-25; 修回日期: 2016-11-29; 编辑: 王雪莉)

基金项目: 中国石油天然气集团公司科研项目“油气管道输送实(试)验新方法和新技术开发”, 2015D-5008-39 (GF); 中国石油天然气集团公司科研项目“油气管道裂纹风险识别与检测评价技术前期研究”, 2016B-3107-0502。

作者简介: 王富祥, 男, 1980年生, 高级工程师, 2006年硕士毕业于清华大学材料科学与工程专业, 现主要从事油气管道完整性检测与评价研究工作。地址: 河北省廊坊市广阳区金光道51号, 065000。电话: 0316-2073876, Email:

kjwfx@petrochina.com.cn

创新点名称: 基于漏磁内检测的管道环焊缝缺陷识别与判定方法。

创新点内容: 分析了环焊缝缺陷漏磁内检测信号特征, 明确了环焊缝缺陷与漏磁信号特征之间的关系, 提出了基于漏磁内检测信号的环焊缝缺陷识别、判定与分类方法, 并将缺陷信号划归为4种类型, 给出了环焊缝缺陷的漏磁内检测检出率和识别率, 为环焊缝缺陷的漏磁内检测工业应用奠定了基础。

The identification and determination of pipeline girth

weld defect based on MFL ILI

WANG Fuxiang, XUAN Wenbo, CHEN Jian, WANG Ting, LEI Zhengqiang, YANG Hui

PetroChina Pipeline R & D Center/CNPC Key Laboratory of Oil & Gas Storage and Transportation

Abstract: As the pipeline girth weld (GW) is welded in field, by the limitations of technical level and on-site construction conditions, there are all kinds of welded defects. In the pipeline in-line inspection (ILI), the magnetic flux leakage (MFL) tool detected a large number of abnormal GW signals. In this paper, based on the theory analysis of GW anomaly features, relationship between GW defects and MFL signal characteristics is clarified, according to simulation analysis of MFL signals for GW defects and pull-through test verification. Feature identification, type determination and classification method of GW defects based on MFL ILI signals are given, with the probability of detection and probability of identification. The excavation results have verified the accuracy of the methods, which become the foundation for the industrial application of MFL ILI for GW defect identification and classification.

Keywords: girth weld (GW) defect; magnetic flux leakage (MFL) in-line inspection (ILI); defect identification; type determination