

铁磁性填充物对缺陷漏磁检测的影响

杨志军,高月辉,张志来,孙 晗,曹怀情,杨 江

(东北石油大学 机械科学与工程学院,大庆 163318)

摘 要:开展了铁磁性填充物对储罐底板缺陷漏磁检测影响的仿真分析与试验研究。以贝尔佐纳涂料为铁磁性填充物,建立内部填充了贝尔佐纳涂料的不同体积缺陷的底板有限元模型,得到了缺陷漏磁场空间分布状态和变化规律。研究表明:填充了贝尔佐纳涂料的缺陷可以采用漏磁检测法检出,且其漏磁场的变化规律与未填充贝尔佐纳涂料缺陷的漏磁场变化规律相同,但其漏磁场强度要小于未填充贝尔佐纳涂料缺陷的漏磁场强度;对于不同体积的缺陷,随着缺陷体积的增大,贝尔佐纳涂料对检测结果的影响呈增大的趋势。

关键词: 贝尔佐纳涂料;铁磁性材料;漏磁检测;有限元分析;腐蚀

中图分类号: X948;TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2021)12-0037-04

Influence of ferromagnetic filler on magnetic flux leakage testing

YANG Zhijun, GAO Yuehui, ZHANG Zhilai, SUN Han, CAO Huaiqing, YANG Jiang

(College of Mechanical Science and Engineering, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

Abstract: Simulation analysis and test of the effect of ferromagnetic filler on the magnetic flux leakage detection of tank floor defect were carried out in this paper. By using Belzona as ferromagnetic filler, the finite element model of the bottom plate filled with different size defects of Belzona was hence established, and the spatial distribution and variation law of the leakage magnetic field of the defects were obtained. The laboratory research shows that the defects filled with Belzona can be detected by magnetic flux leakage testing method, and the change rule of magnetic flux leakage is the same as that of unfilled Belzona, but the magnet flux leakage intensity is less than that of unfilled Belzona; for defects of different volumes, with the increase of defect volume, the effect of Belzona on the test result shall show a tendency to increase.

Key words: Belzona paint; ferromagnetic material; magnetic flux leakage testing; finite element analysis; corrosion

石油工业的设备经常会接触到酸、碱、盐等具有腐蚀性的物质^[1],这些物质会对设备的表面造成损伤。贝尔佐纳涂料可以用来修复材料的表面损伤,主要用于设备的修补、修复及保护。对于储油罐、储气罐等化工设备的密封堵漏问题,使用传统的焊接、铆接、刷镀、热喷涂等办法难以解决,但可以用贝尔佐纳

涂料金属胶进行修复,均能取得满意的效果。贝尔佐纳涂料现已应用于石油工业设备的保护中,由于贝尔佐纳涂料具有一定的磁导率,所以会对漏磁检测的效果产生一定影响。笔者应用 ANSYS 软件对含有贝尔佐纳涂料的缺陷漏磁检测进行仿真分析,分析了贝尔佐纳涂料对漏磁信号的影响;在此基础上,对含有贝尔佐纳涂料的缺陷漏磁检测进行了试验研究,试验结果与有限元分析结果基本一致^[2-4]。

1 含贝尔佐纳涂料缺陷的漏磁检测原理

漏磁检测是利用材料中存在不连续性造成磁力线发生畸变的磁现象,来检测铁磁材料工件表面及近表面缺陷的一种无损检测方法。填充了贝尔佐纳

收稿日期:2021-04-06

基金项目:国家青年自然科学基金资助项目(51607035);国家质检总局科技计划项目(2017QK050);江苏省市场监督管理局科技计划项目(KJ204126);浙江省质监系统科技计划项目(20180352)

作者简介:杨志军(1976—),男,博士,副教授,主要从事漏磁检测研究工作

通信作者:高月辉,2536337378@qq.com

涂料缺陷的漏磁检测原理为:被检测钢板在外加磁场的的作用下被磁化,若被检测钢板上的缺陷中无贝尔佐纳涂料,则该缺陷会使磁力线发生较大的畸变,较多的磁力线会溢出工件表面,在缺陷处形成磁场强度较大的漏磁场^[5-7],原理如图 1(a)所示;若被检测钢板上的缺陷中含有贝尔佐纳涂料,由于贝尔佐纳涂料的磁导率大于空气的磁导率,小于铁的磁导率,所以会有较少的磁力线经过贝尔佐纳涂料,磁力线畸变较小,较少的磁力线溢出工件表面,在缺陷处形成的漏磁场便较弱,原理如图 1(b)所示。利用磁敏元件对缺陷漏磁场进行检测,没有填充贝尔佐纳涂料的缺陷漏磁场信号较强,填充了贝尔佐纳涂料的缺陷漏磁场信号较弱,将磁场信号转换成电信号并进行相应处理,就可以得到缺陷信息^[8]。

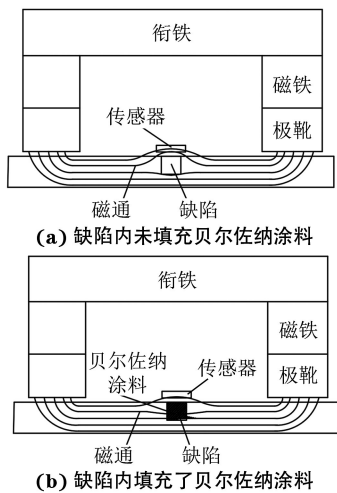


图 1 漏磁检测原理示意

2 漏磁检测有限元分析

2.1 建立有限元模型

为了研究贝尔佐纳涂料对缺陷漏磁场的影响,建立漏磁检测有限元分析模型:有限元模型采用棱边单元法,选择 SOLID117 单元,磁铁材料选用钕铁硼永磁体,衔铁和极靴采用工业纯铁^[9-11],被检测钢板采用厚度为 10 mm 的碳钢板,在钢板上表面模拟球形铣刀加工的直径为 20 mm 缺陷,缺陷深度分别为板厚的 10%,20%,30%,40%,50%,60%,70%,80%,90%。对上述填充了贝尔佐纳涂料与未填充贝尔佐纳涂料缺陷的情况进行有限元模拟,图 2 为有限元分析模型,图 3 为磁通量密度分布云图。

2.2 仿真结果分析

在填充了贝尔佐纳涂料缺陷的上方 1 mm 处设

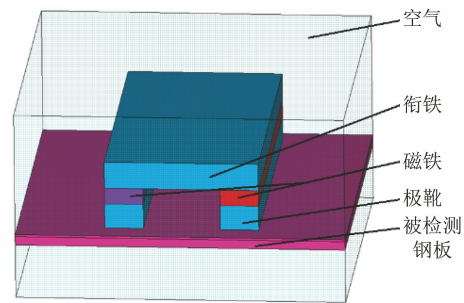


图 2 有限元分析模型

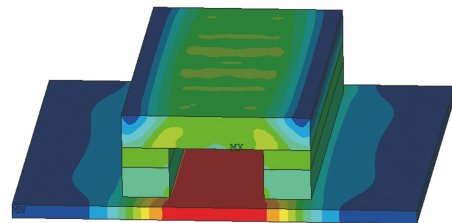


图 3 磁通量密度分布云图

置提取路径,提取不同体积缺陷漏磁场强度的水平分量 B_x 与垂直分量 B_y ,将提取到的数据绘制成缺陷漏磁场强度的分量曲线(见图 4,5)。

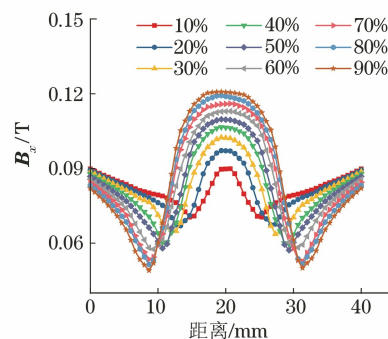


图 4 填充了贝尔佐纳涂料的不同体积缺陷的 B_x 曲线

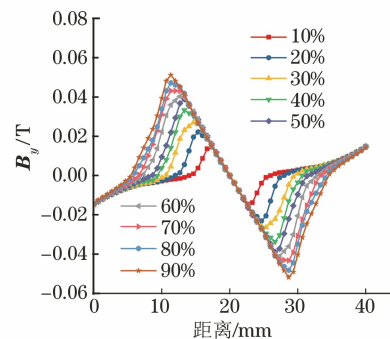


图 5 填充了贝尔佐纳涂料的不同体积缺陷的 B_y 曲线

由图 4,5 可以得出:填充了贝尔佐纳涂料缺陷的漏磁信号明显, B_x 曲线仅存在一个峰值,峰值位置约在缺陷的中心处; B_y 曲线存在一个正峰和一个负峰,峰值位置分别对应缺陷两侧的边缘处;对于不同体积的缺陷,漏磁场强度随着缺陷体积的增大而增大,在对填充了贝尔佐纳涂料的缺陷进行漏磁检

测时, 体积较大的缺陷更容易被识别。

为了分析填充了贝尔佐纳涂料与未填充贝尔佐纳涂料缺陷的漏磁场, 设置对照仿真组, 对未填充贝尔佐纳涂料的缺陷进行仿真。控制其他参数不变, 只是将缺陷内的贝尔佐纳涂料去除, 获得了未填充贝尔佐纳涂料的不同体积缺陷漏磁场强度的水平分量 B_x 和垂直分量 B_y 数据, 绘制了分量曲线图(见图 6, 7)。

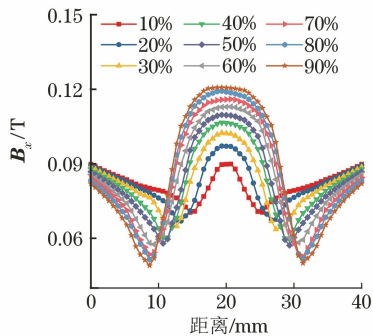


图 6 未填充贝尔佐纳涂料的不同深度缺陷的 B_x 曲线

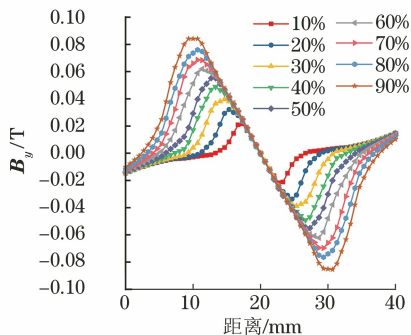


图 7 未填充贝尔佐纳涂料的不同深度缺陷的 B_y 曲线

由图 4~7 可以得出: 填充了贝尔佐纳涂料与未填充贝尔佐纳涂料的缺陷漏磁场强度对应分量的变化规律相同; 对于相同体积的缺陷, 填充了贝尔佐纳涂料缺陷的漏磁场强度总是小于未填充贝尔佐纳涂料缺陷的漏磁场强度。

为了进一步分析贝尔佐纳涂料对不同体积缺陷漏磁场的影响, 计算出填充与未填充贝尔佐纳涂料缺陷漏磁场强度分量的幅值并进行比较。

将填充与未填充贝尔佐纳涂料缺陷的漏磁场强度分量幅值之差称为差值, 将差值与未填充贝尔佐纳涂料缺陷的漏磁场分量幅值的比值称为差值占比, 将差值占比项的数据描点并绘制出拟合直线, 结果如图 8, 9 所示。从图 8, 9 可以看出, 差值占比总体上随缺陷体积的增大而增大。由此可知, 在进行漏磁检测的过程中, 缺陷的体积越大, 填充贝尔佐纳涂料对漏磁检测的效果影响越明显。

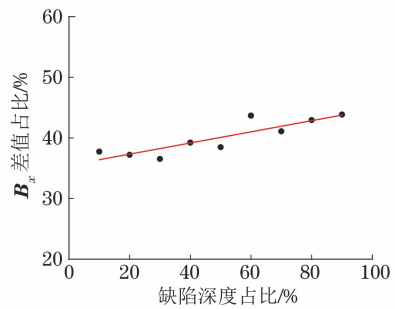


图 8 水平分量差值占比

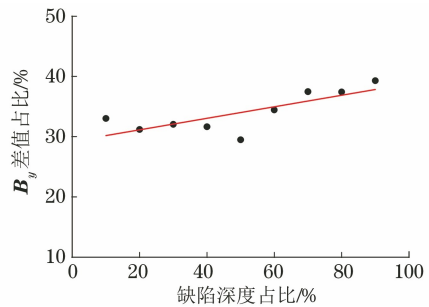


图 9 垂直分量差值占比

3 试验过程

用直径为 20 mm 的球形铣刀在一块厚度为 10 mm 的 Q235B 钢板上加工 4 个深度不同的缺陷, 缺陷深度分别为板厚的 20%, 40%, 60%, 80%, 缺陷间距为 200 mm。利用实验室自行设计的 TMS-08M 型漏磁扫描仪对试件进行漏磁检测, 试验装置外观如图 10 所示。在被检测试件没有填充贝尔佐纳涂料的情况下, 使用漏磁扫描仪从 20% 深度缺陷向 80% 深度缺陷方向进行扫描, 得到未填充贝尔佐纳涂料情况下的检测数据; 将贝尔佐纳涂料固化剂与贝尔佐纳涂料基料混合搅拌, 涂抹到缺陷内部, 利用漏磁扫描仪对缺陷再次进行检测, 得到填充了贝尔佐纳涂料情况下的检测数据。整理数据, 将两种情况下, 缺陷中央上方通道采集到的数据绘制成曲线进行对比, 结果如图 11 所示。



图 10 试验装置外观

由图 11 可以看出, 填充了贝尔佐纳涂料与未填充贝尔佐纳涂料的缺陷均有明显的波形, 且对于体

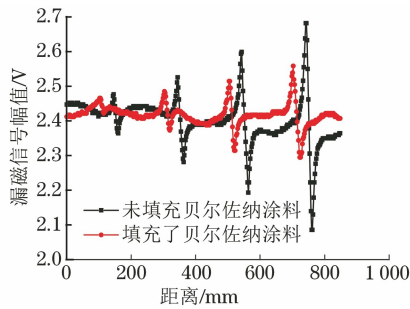


图 11 填充、未填充贝尔佐纳涂料缺陷的漏磁信号波形
积相同的缺陷,未填充贝尔佐纳涂料的缺陷信号幅值总是大于填充贝尔佐纳涂料缺陷的信号幅值,且两者的信号幅值都随着缺陷体积的增大而增大,这与有限元仿真得出的结论一致。

为了进一步分析贝尔佐纳涂料对不同体积缺陷漏磁场的影响规律,提取填充、未填充贝尔佐纳涂料缺陷的漏磁信号幅值,并计算出二者差值和差值占比。将差值占比数据绘制成拟合直线,结果如图 12 所示。

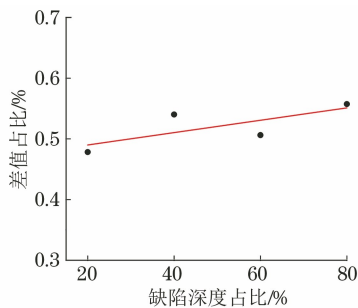


图 12 漏磁信号差值占比拟合直线

由图 12 可知,差值占比总体上随缺陷体积的增大而增大。由此可知,在进行漏磁检测的过程中,缺陷的体积越大,填充贝尔佐纳涂料对漏磁检测的影响越明显,这与有限元仿真得出的结论一致。

4 结语

(1) 利用有限元方法,研究了常压储罐底板填充了贝尔佐纳涂料缺陷的漏磁场空间分布状态,并与未填充贝尔佐纳涂料的缺陷进行对比分析。对于不同体积的缺陷,填充了贝尔佐纳涂料或未填充贝

尔佐纳涂料缺陷漏磁场的变化规律相同,磁场强度与缺陷体积成正相关;对于相同体积的缺陷,未填充贝尔佐纳涂料缺陷的漏磁场强度总是大于填充了贝尔佐纳涂料缺陷的漏磁场强度;两者信号幅值之差随缺陷体积的增大而增大,且两者信号幅值的差值占比总体上随缺陷体积的增大而增大。

(2) 在实验室条件下进行了底板检测试验,验证了有限元分析的结果,证明了漏磁检测技术能够实现对于填充了贝尔佐纳涂料缺陷的有效检测,检测前需要对仪器进行校准。

参考文献:

- [1] 王其峰. 防腐蚀涂料在石油工业中的应用探讨[J]. 全面腐蚀控制, 2019, 33(7): 35-36, 80.
- [2] 戴光, 安冉, 杨志军, 等. 表面缺陷开放漏磁场空间分布特性研究[J]. 中国安全科学学报, 2017, 27(4): 82-86.
- [3] JOHNSTON D. Aboveground storage tank floor inspection using magnetic flux leakage[J]. NDT and E International, 1997, 30(1): 37.
- [4] 杨志军, 张振龙, 吴忠义, 等. 储罐壁板缺陷的漏磁场信号研究[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(5): 67-72.
- [5] 杨志军, 陈德姝, 陈亮, 等. 腐蚀缺陷漏磁场检测有限元模拟[J]. 无损检测, 2015, 37(11): 51-55, 77.
- [6] FENG J, LU S X, LIU J H, et al. A sensor liftoff modification method of magnetic flux leakage signal for defect profile estimation[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2017, 53(7): 1-13.
- [7] 张喜艳. 油管缺陷漏磁检测与信号分析研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
- [8] 戴光, 孙立强, 杨志军, 等. 圆筒形容容器漏磁内检测 ANSYS 仿真分析与试验[J]. 无损检测, 2013, 35(3): 25-29.
- [9] 安冉. 基于开放磁场的表面缺陷漏磁检测技术研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2019.
- [10] 张鹏, 蒲正元. 管道缺陷漏磁和超声波检测数据的对比分析[J]. 中国安全科学学报, 2014, 24(10): 113-119.
- [11] 温兴柔, 赵力伟. 罐底板缺陷漏磁场三维有限元分析[J]. 油气储运, 2015, 34(7): 741-745.

欢迎网上投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告