

管道周向励磁漏磁检测磁路设计

杨理践¹, 张国光^{1,2}, 刘刚¹, 高松巍¹

(1. 沈阳工业大学, 沈阳 110178; 2. 沈阳化工学院, 沈阳 110142)

摘要: 管道周向励磁漏磁检测技术是一种新的检测方法, 对于检测和定量评定轴向缺陷具有潜在优势。磁化器磁路设计是漏磁检测需要解决的首要问题, 采用磁路计算原理研究管道磁化磁路中永磁体长度、厚度和宽度改变时, 管道表面缺陷产生的漏磁场的变化情况, 得到了缺陷漏磁场随永磁体长度、厚度和宽度改变时的变化规律。此规律有助于从整体上把握永磁体磁路设计, 改善磁化效果, 提高漏磁检测灵敏度, 进而为漏磁检测磁路的设计提供依据。

关键词: 漏磁检测; 管道磁化; 周向励磁; 磁路计算

中图分类号: TE973 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3932(2010)01-0039-02

1 引言

管道腐蚀缺陷漏磁检测是油气管道检测中常用的一种有效方法。它通过测量被磁化的铁磁材料工件表面泄露的磁场强度来判定工件缺陷的大小^[1-3]。目前, 已投入运营的国内外管道检测装置是采用传统的轴向励磁方式, 如图 1 所示^[2]。



图1 管道轴向励磁漏磁检测装置示意图

该类检测器硬件设计(系统机械结构、电路设计、信号处理等)方面的技术较为成熟, 但这类装置无法检测轴向导向的狭窄裂纹、焊缝、机械损伤和腐蚀凹坑等缺陷。周向励磁漏磁检测技术是一种新的方法, 对于检测和定量评定轴向缺陷具有潜在优势^[3]。

周向励磁漏磁检测依靠环绕管道(周向)分布的磁化场实现检测, 而不是沿轴向分布的磁化场, 克服了轴向励磁检测不能检测轴向缺陷的缺点^[4]。图 2 是一典型周向励磁漏磁检测装置, 它由磁化单元、数据采集单元和驱动单元组成^[5]。



图2 周向励磁漏磁检测装置

由于管壁周向磁特性、缺陷距磁极的距离、磁化水平、装置运行速度和传感器间距等因素, 使得周向励磁检测实施和分析变得困难^[6]。合适的磁化水平直接影响检测精度, 是技术实施的关键, 合适磁化水平的选择可由合理设计磁化器来完成。

2 磁化器结构及等效磁路模型

磁化器磁路设计是漏磁检测需要解决的首要问题。管壁被磁化到合适的程度是缺陷产生一定大小漏磁场的前提条件, 磁化合适与否严重影响着检测灵敏度。一般来说, 磁化场越强, 缺陷产生的漏磁场也越强, 考虑经济性、实用性的原则, 认为缺陷产生能够检出的漏磁场为磁化合适。永磁体的参数直接影响磁化强度, 用物理实验的方法研究永磁体参数与磁化强度的关系有很大局限性, 但磁路计算方法可以容易地解决这一问题。

磁化器由永磁体、钢刷、磁轭和管壁构成。在结构上, 为了减小空气隙造成的磁阻损耗, 用环形磁轭使磁路闭合以进一步提高磁化强度, 其结构截面简图如图 3 所示。

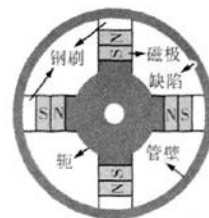


图3 磁路结构截面简图

收稿日期: 2009-09-10 (修改稿)

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAK02B01-04)

依据磁路考虑结构的对称性和集总参等效网络方法^[7],可得四分之一磁化器等效磁路模型,如图 4 所示。

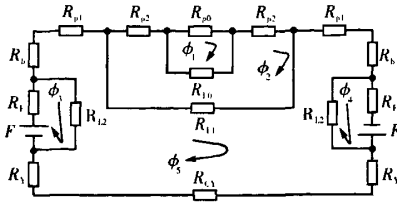


图 4 等效磁路模型

注: F ——永磁体的磁势, $F = H_C L_m$, H_C ——永磁体的矫顽力, L_m ——永磁体的径向厚度; R_F ——永磁体的磁阻, $R_F = \frac{L_m}{\mu_{mc} S}$, μ_{mc} ——永磁体的磁导率, S ——永磁体的截面积; R_Y ——径向轭铁的磁阻, $R_Y = \frac{L_Y}{\mu_Y S_Y}$, μ_Y ——轭铁的磁导率, L_Y ——轭铁的径向长度; R_{CY} ——环形轭铁的磁阻, $R_{CY} = \frac{L_{CY}}{\mu_Y S_C}$, L_{CY} ——环形轭铁的周向弧长, S_C ——环形轭铁的截面积; R_b ——钢刷的磁阻, $R_b = \frac{L_b}{\mu_b S_b}$, μ_b ——钢刷的磁导率, L_b ——钢刷的径向长度; R_{p0}, R_{p1}, R_{p2} ——管壁不同位置的磁阻, $R_{pi} = \frac{L_{pi}}{\mu_p S_{pi}}$ ($i = 0, 1, 2$), μ_p ——管壁的磁导率, L_{pi} ——管壁的长度, S_{pi} ——管壁的截面积; R_{L0}, R_{L1}, R_{L2} ——不同位置的气隙磁阻, $R_{Li} = \frac{L_{Li}}{\mu_0 S_{Li}}$ ($i = 0, 1, 2$), μ_0 ——空气的磁导率, L_{Li} ——气隙的长度, S_{Li} ——气隙的截面积

3 等效磁路方程

设通过各网孔的磁通量及方向如图 4 所示, 依据磁路基尔霍夫定律^[7], 得到如下磁路网孔方程。

$$(R_{p0} + R_{L0})\phi_1 - R_{L0}\phi_2 = 0 \quad (1)$$

$$-R_{L0}\phi_1 + (R_{p2} + R_{L0} + R_{p2} + R_{L1})\phi_2 - R_{L1}\phi_3 = 0 \quad (2)$$

$$(R_F + R_{L2})\phi_3 - R_{L2}\phi_5 = F \quad (3)$$

$$(R_F + R_{L2})\phi_4 - R_{L2}\phi_5 = F \quad (4)$$

$$-R_{L1}\phi_2 - R_{L2}\phi_3 - R_{L2}\phi_4 + (2R_{p1} + 2R_b + 2R_Y + 2R_{L2} + R_{L1} + R_{CY})\phi_5 = 0 \quad (5)$$

通过缺陷外 S_T 区域(测量区域)内平均漏磁通密度为:

$$B = (\phi_1 - \phi_2)/S_T \quad (6)$$

4 永磁体参数对缺陷漏磁通的影响

管道内径 325 mm, 壁厚 7 mm, 采用 20# 钢; 环形轭外径 180 mm, 钢刷厚 20 mm, 磁导率近似为 2 000 H/m。在管道内壁两个磁极中间(离磁极最远处)有一个周向宽 5.7 mm(圆心角 2°), 50% 管壁深的轴向裂纹(图 1 所示), 裂纹轴向长远大于磁极轴向长。采用自行编制计算软件计算。

图 5 是永磁体轴向长度从 10 ~ 70 mm 变化时, 对平均漏磁通密度 B 的影响。从图中可以看出, 随着永磁体轴向长度变大, 平均漏磁通密度保持不变。

图 6 是永磁体周向长度(宽度)从 14.2 mm(圆

心张角 5°) ~ 70.9 mm(圆心张角 25°) 变化时, 对平均漏磁通密度 B 的影响。从图中可以看出, 随着永磁体宽度变大, 平均漏磁通密度随之增长。

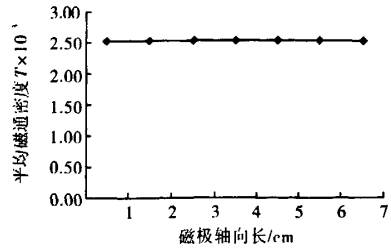


图 5 永磁体长度对漏磁通的影响

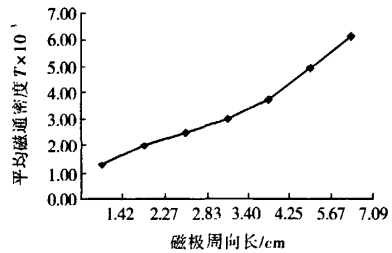


图 6 永磁体宽度对漏磁通的影响

图 7 是永磁体径向厚度(厚度)从 10 ~ 50 mm 变化时, 对平均漏磁通密度 B 的影响。从图中可以看出, 在永磁体厚度较小时, 随着厚度变大, 平均漏磁通密度开始增长较快。随着永磁体厚度的不断增加, 平均漏磁通密度增长缓慢。

图 8 是平均漏磁通密度随永磁体矫顽力变化曲线。从图中可以看出, 随着永磁体矫顽力的增加, 即磁化水平增强, 平均漏磁通密度线性增长。

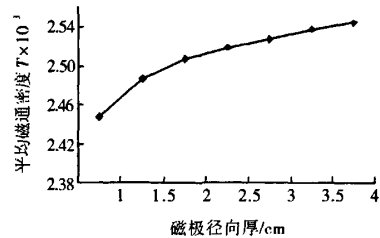


图 7 永磁体厚度对漏磁通的影响

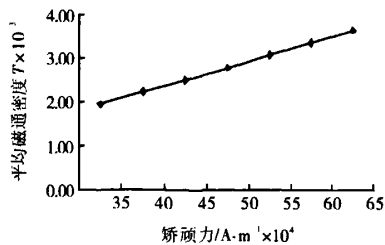


图 8 永磁体矫顽力对漏磁通的影响

(下转第 44 页)

Abstract: A method of using support vector machines to monitor the state of the furnace flame burning was introduced. By comparing of several methods of monitoring, the state of flame monitoring results was analyzed by the dates which was the basic characteristics of flame bright (it would be broken down into its R, G, B pattern by digital image processing methods), the flame area (the size of the flame burning of the video camera pixel) and other aspects of data extraction. Based on the principle of support vector machine (SVM), the original image data in MATLAB was analyzed. In the furnace to monitor the intensity of the flames, first of all, digital image processing methods was used to obtain the raw data of furnace flame burning (brightness of the flame RGB date), and SVM was used to find the best plane (the largest interval hyper-plane) of image date classification algorithm, the original image data was identified categories in order to gain the strength to monitor the results of the flame. By analyzing the raw data of the furnace flame, incomplete combustion of the image data was extracted. With the flames of the burning of the total image pixels compared to a more accurate analysis of the effect of burning map, that was, the results were divided into good (which was fully completely combustion), medium (which was mostly full combustion) and bad (which was a small number of full combustion), and then by observing and analyzing the results of the classification to take corresponding measures. The simulation results show that in this way the image analysis of the flame burning is an effective way to real-time judge of the flame's brightness and combustion state and accurate analysis of the state of combustion.

Key words: SVM; furnace flame; monitoring; classification results

(上接第 40 页)

5 结 论

从磁路计算入手,分析了永磁体形状参数(长度、宽度、厚度)以及矫顽力对磁化效果,即缺陷漏磁场的影响,为设计出经济、可靠的磁化装置提供了理论依据。永磁体轴向长度的变化几乎不影响磁化效果,实际应用时适当选取即可;缺陷漏磁场与永磁体矫顽力呈正比例关系,可选择矫顽力大的永磁体,达到满意的磁化效果;当永磁体矫顽力确定后,磁化效果又不能满足要求时,可通过增加永磁体宽度和厚度的方法满足要求。

参考文献:

- [1] 杨理践,王玉梅,冯海英. 智能化管道漏磁检测装置的研究[J]. 无损检测, 2002, 24(3): 100 - 102.
- [2] 杨理践. 管道漏磁在线检测技术[J]. 沈阳工业大学学报,

2005, 27(5): 252 - 255.

- [3] 宋小春,黄松岭,等. 高清晰度储罐底板漏磁检测器的研制[J]. 化工自动化及仪表, 2007, 34(1): 77 - 80.
- [4] IRELAND R C, TORRES C R. Challenges in Circumferential Magnetization: A Fea Point of View [C] // Proceedings of IPC 2004 Internatiolan Pipeline Conference. Calgary, Alberta, Canada, 2004: 945 - 955.
- [5] IRELAND R C, TORRES C R. Finite Element Modelling of a Circumferential Magnetiser [J]. Sensors and Actuators A, 2006, 129: 197 - 202.
- [6] NESTLEROOTH J B. Circumferential MFL In-line Inspection for Cracks in Pipelines [R]. National Engineering Technology Laboratory, Ohio, USA, DE-FC26-01NT41159, 2003: 7 - 8.
- [7] 孙雨施. 直流磁系统的计算与分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 1987: 37 - 38.

Design of the Magnetic Circuit in Circumferential Magnetic Flux Leakage Testing in Pipeline

YANG Li-jian¹, ZHANG Guo-guang^{1,2}, LIU Gang², GAO Song-wei¹

(1. Shenyang University of Technology, Shenyang 110178, China;

2. Shenyang Institute of Chemical Technology, Shenyang 110142, China)

Abstract: Circumferential magnetic flux leakage testing (CMFL) was a new implementation that had potential to detect and quantify axially oriented defects. The influence of the geometric size of permanent magnets on pipeline magnetization in magnetic circuit design was analyzed using the magnetic circuit calculation principle. The magnetic flux leakage due to a pipeline defect was calculated for various permanent magnet length, thickness and width. Correlation curves were given for the magnetic flux leakage along with the length, thickness and width of magnet. The result can be used in magnetic circuit design for improving testing sensitivity and for providing a method for the magnetization design in magnetic flux leakage testing.

Key words: magnetic flux leakage testing; pipeline magnetization; circumferential magnetization; magnetic circuit calculation

管道周向励磁漏磁检测磁路设计

作者: [杨理践](#), [张国光](#), [刘刚](#), [高松巍](#), [YANG Li-jian](#), [ZHANG Guo-guang](#), [LIU Gang](#),
[GAO Song-wei](#)

作者单位: [杨理践, 刘刚, 高松巍, YANG Li-jian, LIU Gang, GAO Song-wei \(沈阳工业大学, 沈阳, 110178\)](#),
[张国光, ZHANG Guo-guang \(沈阳工业大学, 沈阳, 110178; 沈阳化工学院, 沈阳, 110142\)](#)

刊名: [化工自动化及仪表](#) **ISTIC|PKU**

英文刊名: [CONTROL AND INSTRUMENTS IN CHEMICAL INDUSTRY](#)

年, 卷(期): 2010, 37(1)

被引用次数: 2次

参考文献(7条)

1. [杨理践;王玉梅;冯海英](#) 智能化管道漏磁检测装置的研究[期刊论文]-[无损检测](#) 2002(03)
2. [杨理践](#) 管道漏磁在线检测技术[期刊论文]-[沈阳工业大学学报](#) 2005(05)
3. [宋小春;黄松岭](#) 高清晰度储罐底板漏磁检测器的研制[期刊论文]-[化工自动化及仪表](#) 2007(01)
4. IRELAND R C;TORRES C R [Challenges in Circumferential Magnetion:A Fea Point of View](#) 2004
5. IRELAND R C;TORRES C R [Finite Element Modelling of a Circumferential Magnetiser](#)[外文期刊] 2006(1-2)
6. NESTLEROOTH J B [Circumferential MFL In-line Inspection for Cracks in Pipelines](#)[DE-FC26-01NT41159] 2003
7. [孙雨施](#) [直流磁系统的计算与分析](#) 1987

本文读者也读过(8条)

1. [高松巍](#). [裴锐](#). [杨理践](#). [GAO Song-wei](#). [PEI Rui](#). [YANG Li-jian](#) 周向励磁油气管道的饱和度分析[期刊论文]-[通信市场](#)2009(11)
2. [杨理践](#). [刘刚](#). [高松巍](#). [张国光](#). [YANG Li-jian](#). [LIU Gang](#). [GAO Song-wei](#). [ZHANG Guo-guang](#) 检测装置运行速度对管道漏磁检测的影响[期刊论文]-[化工自动化及仪表](#)2010, 37(5)
3. [杨理践](#). [毕大伟](#). [高松巍](#). [Yang Li-jian](#). [Bi Dawei](#). [Gao Songwei](#) 油气管道漏磁检测的缺陷量化技术的研究[期刊论文]-[计算机测量与控制](#)2009, 17(8)
4. [吴涛](#). [张国光](#). [郭锐](#) 周向励磁漏磁检测技术的研究[期刊论文]-[无损探伤](#)2009, 33(6)
5. [黄辉](#). [何仁洋](#). [熊昌胜](#). [张智](#). [HUANG Hui](#). [HE Ren-yang](#). [XIONG Chang-sheng](#). [ZHANG Zhi](#) 漏磁检测技术在管道检测中的应用及影响因素分析[期刊论文]-[管道技术与设备](#)2010(3)
6. [杨理践](#). [史金阳](#). [高松巍](#). [YANG Li-jian](#). [SHI Jin-yang](#). [GAO Song-wei](#) 管道缺陷漏磁信号分类与识别方法的研究[期刊论文]-[通信市场](#)2009(11)
7. [杨理践](#). [YANG Li-jian](#) 管道漏磁在线检测技术[期刊论文]-[沈阳工业大学学报](#)2005, 27(5)
8. [杨理践](#). [邢燕好](#). [高松巍](#) 高精度管道漏磁在线检测系统的研究[期刊论文]-[无损探伤](#)2005, 29(1)

引证文献(2条)

1. [贲安然](#). [武新军](#). [袁建明](#) 拉索漏磁检测磁化器有限元分析与设计[期刊论文]-[化工自动化及仪表](#) 2012(2)
2. [宋小春](#). [杨林](#). [许正望](#) 管道周向磁化漏磁检测有限元分析[期刊论文]-[中国机械工程](#) 2011(22)